



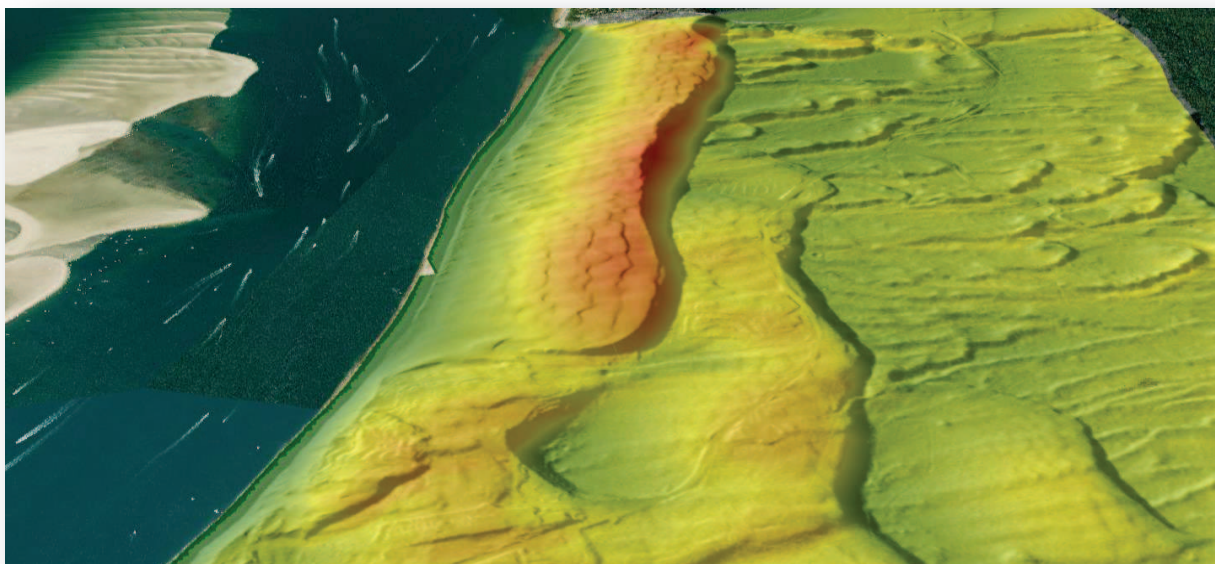
INSTITUT AUSONIUS - UMR 5607 CNRS / Université Bordeaux Montaigne

LITAQ et RGE ALTI

Traitements de MNT construits à partir de données LIDAR

Cellule Géomatique – Benoît DARET

28/11/2014

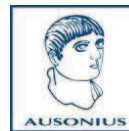


Synthèse de travaux effectués par la cellule géomatique de l'Institut Ausonius visant à évaluer la capacité du produit RGE ALTI à constituer un référentiel topographique utile dans le cadre du programme de recherches LITAQ



Sommaire

1	ANALYSE DES BESOINS	3
2	METHODOLOGIE GENERALE DE TRAVAIL	4
3	LE RGE ALTI	5
3.1	Présentation du RGE ALTI	5
3.2	Rappel sur la technologie LiDAR (Light Detection And Ranging)	6
3.3	Le RGE ALTI "Aquitaine"	9
3.3.1	L'organisation des données	9
3.3.2	Les caractéristiques des données	10
4	TECHNIQUES DE VISUALISATION DE MNT	18
4.1	Présentations des techniques retenues	18
4.1.1	Raster d'ombrage (Hillshade)	19
4.1.2	Canaux composites (Composite Bands)	20
4.1.3	MDOW - Multi Directional Oblique-Weighted Shaded-Relief Image	21
4.1.4	Analyse en Composante Principale (PCA - Principal Component Analysis)	22
4.1.5	Rayonnement solaire (Sky View Factor et Solar radiation)	24
4.1.6	Une technique de soustraction de MNT : "TPI - Topographic Position Index"	27
4.1.7	Raster de pente (Slope)	28
4.1.8	Adaptation de la rampe colorimétrique	30
4.2	Présentation de 5 sites-tests	32
4.2.1	Tumulus des communes de Queyrac et Vendays-Montalivet (1°02'16.5" W - 45°20'44.3" N) ..	33
4.2.2	"Mur de Gaillan", Gaillan en Médoc (0°56'48.9" W - 45°18'49.7" N)	34
4.2.3	Agglomération romaine de Brion, Saint-Germain d'Esteuil (0°50'21.4" W - 45°16'51.0" N)	35
4.2.4	Deux sites de plaine avec moins de végétation : un paléochenal (Queyrac 0°59'06.08" W - 45°22'42.8" N) et une digue (Jau-Dignac-et-Loirac 0°54'11.6" W - 45°24'38.1")	36
4.3	Synthèse des résultats des tests de visualisation	37
4.4	Est-il nécessaire de produire de nouveaux MNT ?	38
4.4.1	Modifier les méthodes d'interpolation	39
4.4.2	Modifier la résolution spatiale	40
5	PRODUCTION DES DONNEES	41
6	PARTAGER LES DONNEES	42
6.1	Objectifs à atteindre et méthodologie générale	42
6.2	Résultats (provisaires) des tests et problèmes rencontrés	43
7	CONCLUSION GENERALE	45
	REFERENCES DOCUMENTAIRES	47
	TABLE DES ILLUSTRATIONS	50
	ANNEXES	52



1 ANALYSE DES BESOINS

Le programme LITAG réunit 2 LabEx : LaScArBx (Archéologie) et COTE (Ecosystèmes continentaux et côtiers). Son thème : "Du Pléistocène à l'Anthropocène : connaître les mécanismes passés d'évolution des populations (végétales, animales, humaines) et des milieux pour prédire les réponses futures. L'exemple du littoral aquitain (LITAG)".

Dans cette perspective d'étude, la connaissance précise de la topographie actuelle des territoires observés est importante. Elle doit pouvoir être mise en regard avec des données annexes (archéologiques, géologiques, biologiques etc.) afin de mettre en exergue des modifications de milieux ou des évolutions d'occupation humaines des territoires. L'amplitude des échelles spatiales couvertes par LITAG est importante puisqu'il faut pouvoir embrasser de vastes étendues (le "Nord-Médoc" représente une zone d'environ 700 km²) et détecter des indices topographiques et archéologiques de quelques mètres de long (paléochenaux, tumulus et autres vestiges).

L'IGN (Institut National de l'Information Géographique et Forestière) commercialise un produit ayant pour ambition de représenter la topographie de la surface du sol à haute résolution. Le RGE ALTI constitue en effet l'élément altimétrique de la composante topographique du RGE (Référentiel à Grande Echelle), conçu et mis à jour régulièrement par l'IGN. Le RGE ALTI a été acquis par la cellule géomatique de l'Institut Ausonius en Juin 2013 auprès de PIGMA (Plateforme géographique Mutualisée d'Aquitaine).

Les travaux résumés ici visent à répondre à trois objectifs majeurs :

- 1- Evaluer la pertinence du RGE ALTI pour les travaux de recherche effectués dans le cadre de LITAG
- 2- Si le produit s'avère utile, entreprendre son exploitation
- 3- Etudier la possibilité de partager des données produites à partir du RGE ALTI

Par "pertinence" du RGE ALTI, on entend principalement sa capacité à :

- 1- Aider à repérer et identifier des éléments archéologiques inconnus
- 2- Aider à analyser des éléments archéologiques connus
- 3- Aider à comprendre la morphologie des paysages

Si au moins 1 des critères précités est rempli, une solution de partage pourra être envisagée afin d'élargir l'audience des données produites. Elle prendra la forme d'un serveur cartographique web capable de publier les données issues du RGE ALTI mais aussi d'autres informations spatialisées. L'idéal étant, en outre, d'offrir à chaque utilisateur la possibilité de disposer d'un espace personnel au sein de l'application, où il pourra créer ses propres données.

L'usage principal des données créées à partir du RGE ALTI sera donc la consultation d'images représentant la surface du sol nu.

Les utilisateurs "finaux" principaux seront les chercheurs impliqués dans le programme LITAG.



2 METHODOLOGIE GENERALE DE TRAVAIL

Juger de la bonne adéquation entre le RGE ALTI et les besoins exprimés par LITAQ reviendra essentiellement à exploiter **visuellement** les MNT (Modèles Numériques de Terrain) contenus dans le RGE ALTI, puisque les utilisateurs devront avant tout pouvoir disposer d'images représentant la surface du sol nu. Des zones-échantillons couvrant des milieux variés (forêts plus ou moins denses, plages, dunes, marais etc.) et où des éléments topographiques et archéologiques sont connus (paléochenaux, tumulus et autres vestiges archéologiques) ont servi de points de comparaison entre les diverses techniques de production d'images employées. Ces sites-tests se situent dans deux zones d'études prioritaires du programme : le Nord Médoc et le Bassin d'Arcachon. La "qualité" des images produites est d'abord jugée à l'aune de leur capacité à respecter le plus fidèlement possible la topographie "connue" tout en présentant le maximum de détails topographiques en une seule image. L'immédiateté de la compréhension de l'image ainsi que les "coûts de production" (techniques, temporels) ont aussi été comparés.

Les tests et la production des données ont été réalisés avec ArcGIS 10.2 "Advanced" sur un PC Windows 7 x64 ; processeur Intel(R) Core(TM) i7 CPU 870 @ 2.93 GHz 8Go RAM

L'étendue de la zone couverte par LITAQ ainsi que les caractéristiques du RGE ALTI impliquent la manipulation de centaines voire de milliers de fichiers. Des outils de traitements par lots sont nécessaires, ne serait-ce que pour extraire d'un dossier des centaines de fichiers.

Des outils ont ainsi été spécifiquement conçus avec FME et l'extension Data Interoperability d'ArcGIS 10.2 permettant d'extraire des fichiers correspondant à une zone d'étude particulière. L'enchaînement des tâches est le suivant pour les fichiers du RGE ALTI :

- a. Dans un logiciel SIG, l'utilisateur sélectionne spatialement les dalles du RGE ALTI correspondant à sa zone d'étude (couche "Tableau_Assemblage")
- b. L'utilisateur exporte la table .dbf comportant les noms des dalles sélectionnées
- c. Dans FME (ou dans ArcGIS via l'extension Data Interoperability), un Workbench préparé spécialement lit les noms de dalles contenus dans la table .dbf et se charge de transférer les fichiers du RGE ALTI correspondants dans un dossier spécifié par l'utilisateur.

Voir les ANNEXES :

- ANNEXE 1 « FME_creer_un_Workbench_pour_extraction_RGEALTI »
- ANNEXE 2 « FME_extraire_des_fichiers_du_RGEALTI_Aquitaine »
- ANNEXE 3 « SpatialETLTool_extraire_des_fichiers_du_RGEALTI »

3 LE RGE ALTI

3.1 Présentation du RGE ALTI

Le RGE ALTI est un produit construit et distribué par l'IGN. Il est un des éléments de la composante "Topographique" du RGE (Référentiel à Grande Echelle) : la collection de grandes bases de données référentielles de l'IGN, géométriquement et spatialement cohérentes entre elle grâce à l'adoption d'un unique système spatial de référence (RGF 93).

Composante du RGE	Produits
Image	BD ORTHO
Topographique	BD TOPO RGE ALTI
Parcellaire	BD PARCELLAIRE
Adresse	BD ADRESSE POINT ADRESSE ROUTE ADRESSE

La vocation du RGE ALTI est de décrire le relief : la forme et l'altitude de la surface du sol. Son ambition est de couvrir la totalité du territoire métropolitain ainsi que les départements d'Outre-mer et Saint Pierre et Miquelon. Pour les zones littorales, le RGE ALTI s'étend au moins jusqu'au "Trait de côte Histolitt (TCH) " défini par le SHOM¹ et l'IGN comme la " *laisse des plus hautes mers dans le cas d'une marée astronomique de coefficient 120 et dans des conditions météorologiques normales (pas de vent du large, pas de dépression atmosphérique susceptible d'élever le niveau de la mer)*²".

Le RGE ALTI est un modèle numérique de terrain (MNT) stockant les informations d'altitude dans une "matrice d'altitudes" : une grille régulière et rectangulaire où chaque nœud de la grille correspond à une valeur d'altitude du terrain que le MNT modélise. Le terme "raster" est aussi employé pour désigner les fichiers numériques stockant des informations dans les cellules de leurs matrices (une image numérique est ainsi composée de cellules nommées "pixels"). Les MNT constituant le RGE ALTI d'une zone d'étude sont livrés par "dalles" d'1 km² chacune.

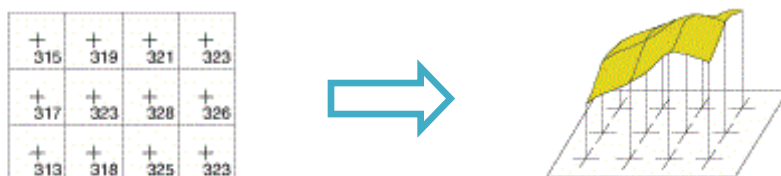


Figure 1 Modéliser une surface à partir de valeurs d'altitude stockées dans les cellules d'un MNT

¹ Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

² Le TCH est un produit commercialisé par l'IGN et constitué de fichiers stockant des polygones 2D



La résolution spatiale des MNT du RGE ALTI est de 1 mètre : 1 cellule de MNT représente 1 carré de 1 mètre de côté dans la réalité. Aucun produit proposé jusqu'alors par l'IGN ne disposait d'une résolution aussi élevée sur de telles étendues.

Les techniques d'acquisition des données altimétriques du RGE ALTI ne sont pas toutes les mêmes selon les territoires.

- Pour certaines portions du territoire, les données altimétriques spécifiques au RGE ALTI sont encore inexistantes (en cour d'acquisition), dans ce cas, l'IGN intègre au RGE ALTI des données altimétriques provenant de la BD ALTI (MNT de résolution spatiale de 25 m).
- Pour les régions rurales et urbaines, les valeurs d'altitudes des MNT du RGE ALTI sont déterminées par corrélation de photographies aériennes.
- En zone de montagne, c'est la technologie radar qui est employée³.
- Pour les parties littorales, les zones fluviale et les grands massifs forestiers, c'est la technologie LiDAR qui est employée, dans l'optique d'offrir un outil de gestion des risques liés aux phénomènes de submersions, inondations et incendies.

LITAG dispose donc du RGE ALTI dont les MNT sont construits à partir des mesures LiDAR.

3.2 Rappel sur la technologie LiDAR (Light Detection And Ranging)

Nous évoquons ici le cas d'un LiDAR "topographique", dont l'objectif est l'étude du relief terrestre. Il existe d'autres types de LiDAR, comme le LiDAR bathymétrique, étudiant le relief subaquatique ou le LiDAR atmosphérique, étudiant la composition de l'atmosphère.

La technologie LiDAR employée pour les mesures d'altitude du RGE ALTI consiste à mesurer le temps de parcours d'une pulsation laser entre le moment de son émission et le moment de son retour à son lieu d'émission après qu'elle eut "rebondi" sur une surface⁴. Grâce à cette mesure très précise du temps écoulé et connaissant par ailleurs la vitesse de propagation de la pulsation (vitesse de la lumière), il est possible de calculer la distance entre le lieu d'émission de la pulsation et celui de la surface percutée. Dans le cas du RGE ALTI, le "lieu d'émission de la pulsation" est un télémètre laser embarqué dans un avion (LiDAR aéroporté). La fréquence des pulsations est élevée (communément 100 000 pulsations par seconde). En outre, un miroir oscillant se charge d'orienter chaque pulsation au moment de son émission, de manière à créer un "balayage" ou "scannage" laser en direction du sol.

Un LiDAR aéroporté est un système intégré complexe, couplant télémètre laser embarqué, informations enregistrées par l'unité de mesure inertielle de l'avion (tangage, lacet, roulis) et relevés de positionnement géographique de l'aéronef (récepteur GNSS embarqué⁵). Pour chaque émission/réception de pulsation laser, il est ainsi possible de calculer précisément la

³ Dans ces zones, où le coût des campagnes aériennes est très élevé et la technique lidar moins performante qu'en plaine, l'IGN diffuse pour le moment un produit déjà existant : "NextMap" de la société InterMap. NextMap est un MNT au pas de 5m construit à partir de mesures ifsar (InterFerometric Synthetic Aperture Radar)

⁴ Mesure du "TOF - Time Of Flight" de la pulsation laser. Une autre technique consiste à mesurer le décalage de phase entre la pulsation "aller" et la pulsation "retour"

⁵ GNSS : "Global Navigation Satellite System". Système de positionnement global par satellites (constellations des satellites GPS, GLONASS etc)

position de l'avion en ces instants, de sorte que pour chaque objet percuté par une pulsation, des informations relatives à l'altitude et au positionnement géographique de ce "point d'impact" sont déterminées.

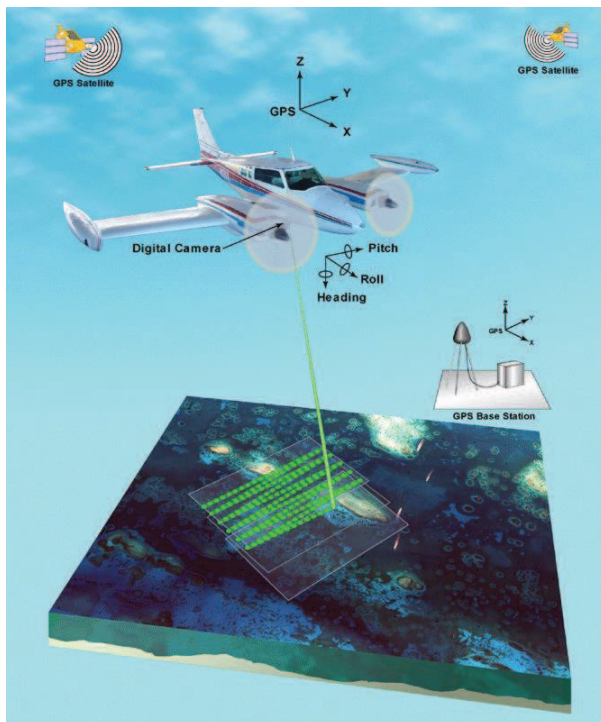


Figure 2 LiDAR aéroporté

Un avion équipé d'un tel système produit ainsi plusieurs millions de "points" lors du survol d'une zone d'étude. On parle alors de "nuages de points".

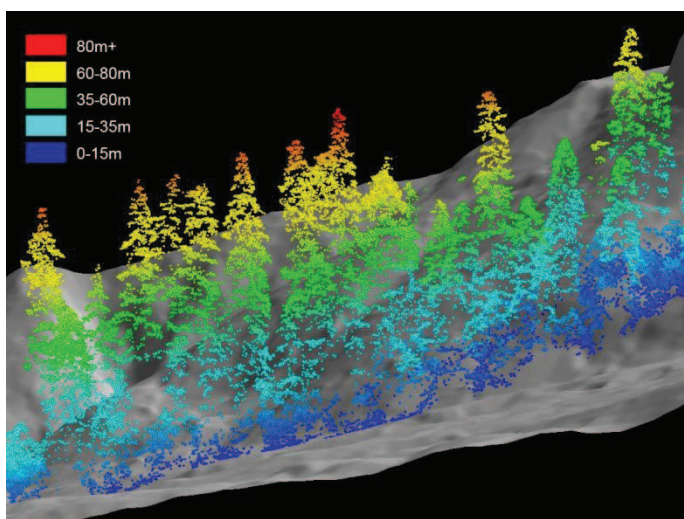


Figure 3 Nuage de points LIDAR sur une zone boisée

A partir d'une seule pulsation laser on peut déterminer plusieurs valeurs d'altitude. En effet, la forme et la taille ("footprint") de la pulsation lorsqu'elle percute un objet peut représenter un disque de 30 cm à 50 cm de diamètre pour un avion volant à 1000 m d'altitude et dont la divergence du rayon laser ("beam divergence") est comprise entre 0.3 mrad et 0.5 mrad. Plusieurs "retours" du même signal lumineux initial peuvent donc être captés par le système (sommet et base d'un bâtiment peuvent ainsi être percutés par une même pulsation), ce qui permet d'affiner la connaissance de la structure de l'objet percuté et d'en préciser ainsi sa modélisation.

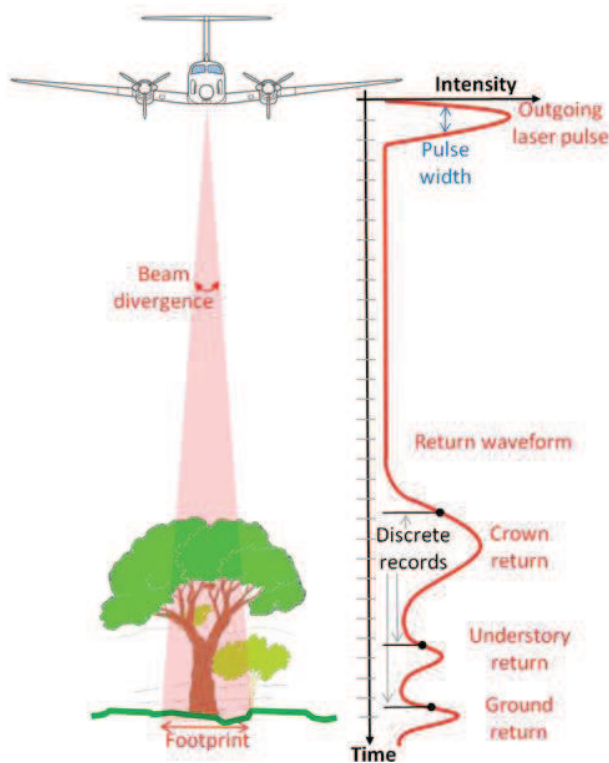


Figure 4 Une pulsation laser peut être composée de plusieurs "retours". Dans l'illustration : 3 retours sont enregistrés (sommet de l'arbre, végétation basse, sol)

Un des défis du traitement des nuages de points LiDAR est de pouvoir catégoriser les points d'impact laser afin de déterminer la nature des objets percutés (végétation, sol nu, bâtiments etc.). Ces opérations extrêmement complexes ne seront pas évoquées dans ce document. L'étape de classification des points est généralement suivie, dans le cas de la production de MNT, de celle visant à filtrer les points pour ne retenir que ceux classés "sol".

L'intérêt majeur, en archéologie, de la technologie LiDAR par rapport à d'autres techniques de télédétection, est la capacité des pulsations laser à pénétrer le couvert végétal et d'atteindre le sol. En effet, la grande fréquence d'émission des pulsations densifie les points d'impacts, augmentant ainsi la probabilité que certaines pulsations s'immiscent dans les interstices de la canopée et du "sous-bois". En outre, les caractéristiques physiques de la pulsation lumineuse font que si une partie de cette dernière peut être bloquée par un obstacle (une feuille d'arbre par exemple), une autre partie peut continuer sa course jusqu'au sol. Cette pulsation sera ainsi composée de plusieurs retours, dont le dernier pourra

être interprété comme un impact "sol". L'usage d'un LiDAR aéroporté permet en outre de couvrir de vastes zones.

3.3 Le RGE ALTI "Aquitaine"

3.3.1 L'organisation des données

Le RGE ALTI acquis par la cellule géomatique de l'Institut Ausonius couvre 8 secteurs "hydro-géographiques" : 7 correspondent à des bassins fluviaux et 1 au littoral.

Chaque secteur est contenu dans un dossier. Le dossier renferme 3 sous-dossiers stockant :

- les nuages de points filtrés "sol" au format .las
- les MNT au format .asc d'une surface d'1 km²
- les rasters de métadonnées au format .tif permettant de connaître les distances d'interpolation pour chaque valeur d'altitude ayant fait l'objet d'une interpolation.

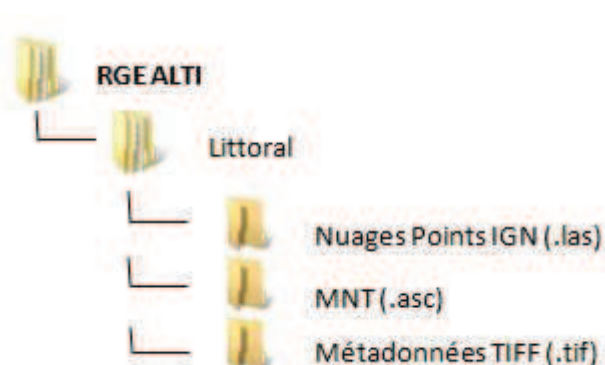


Figure 5 Arborescence des données transmises par l'IGN

Le dossier intéressant tout particulièrement LITAQ est le dossier couvrant la totalité du littoral aquitain sur une étroite bande de 2 km environ, sauf dans le Nord du Médoc, où l'espace entre l'océan et l'estuaire de la Gironde est aussi partiellement couvert.

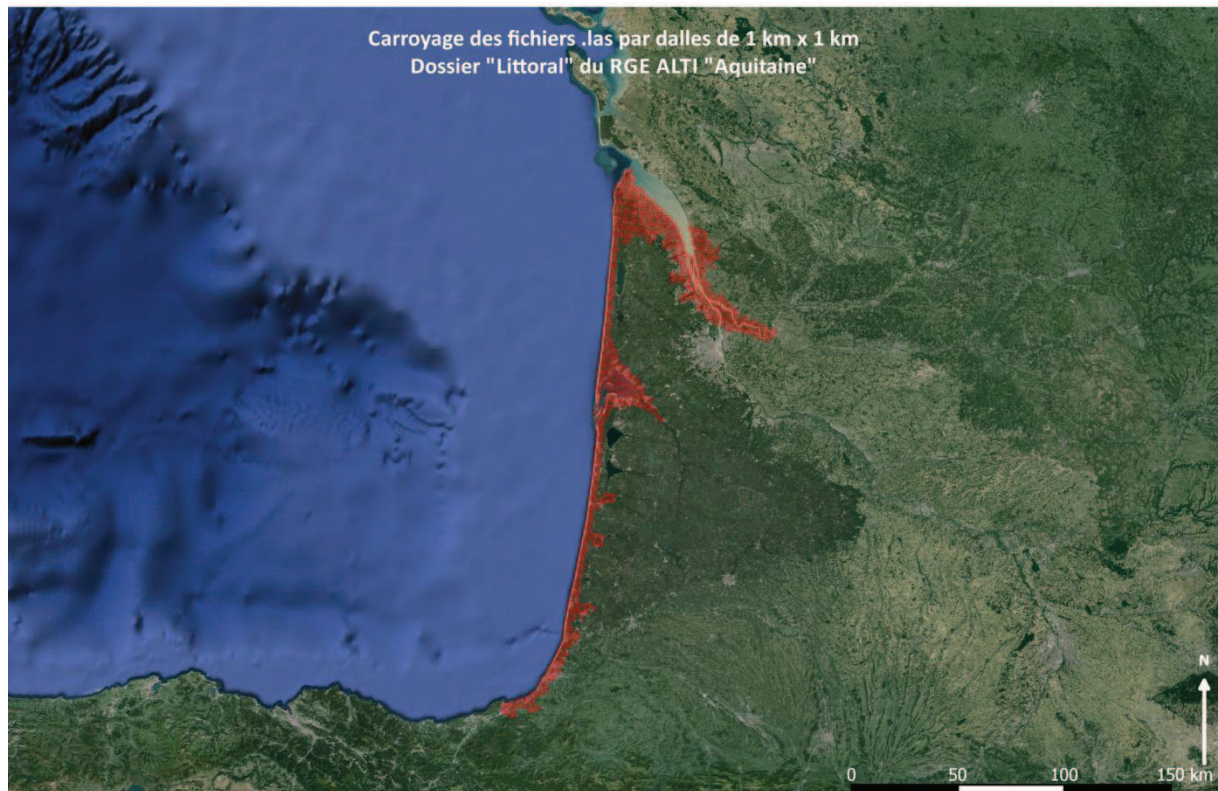


Figure 6 Zone couverte par les fichiers du dossier "Littoral" du RGE ALTI "Aquitaine"

3.3.2 Les caractéristiques des données

3.3.2.1 Des zones de données mixtes

Les MNT du RGE ALTI des secteurs fluviaux peuvent présenter un caractère mixte (ce cas de figure ne se retrouve pas dans les MNT du dossier "Littoral") :

- la technique LiDAR a été employée pour les zones inondables du lit du fleuve
- pour les zones au-delà d'une certaine limite d'altitude (le seuil utilisé par l'IGN n'est pas connu) c'est un produit déjà existant qui est réutilisé : la BDALTI, un MNT au pas initial de 25m ré-échantillonné pour l'occasion au pas de 1 m.

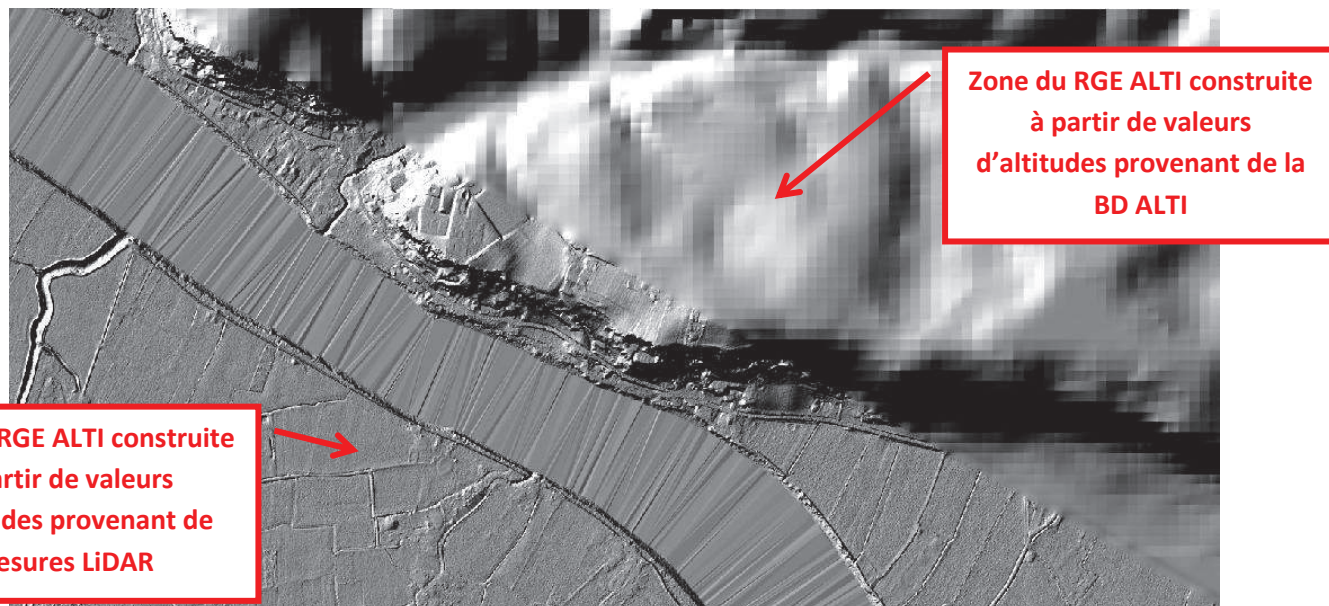


Figure 7 Le RGE ALTI construit à partir de données d'altitudes provenant de différentes sources : LiDAR et BD ALTI (secteur de l'Isle Saint Georges ; visualisation à l'aide de la technique « raster d'ombrage »)

3.3.2.2 Des zones sans données

Le RGE ALTI est composé de MNT d'1 km² représentés par un tableau d'assemblage localisant et répertoriant les noms de chaque dalle MNT. Il convient de préciser qu'une dalle d'1 km² ne stocke pas forcément des données d'altitudes sur la totalité de sa surface. Des portions peuvent en effet être vides de données. Ceci s'explique par le fait que l'IGN commercialise un produit LiDAR conçu prioritairement pour la gestion des risques d'inondation et de submersion. Contrairement au cas des MNT "mixtes", les zones sans données ("NoData") n'ont pas été comblées avec un autre type de données, mais laissées "vides". Ces zones NoData, pour le dossier Littoral, semblent être situées au-delà de 10 m d'altitude et à plus de 2 km du trait de côte.

Contacté sur ce point, l'IGN annonce pouvoir distribuer un produit exempt de "trous" avant fin 2016.

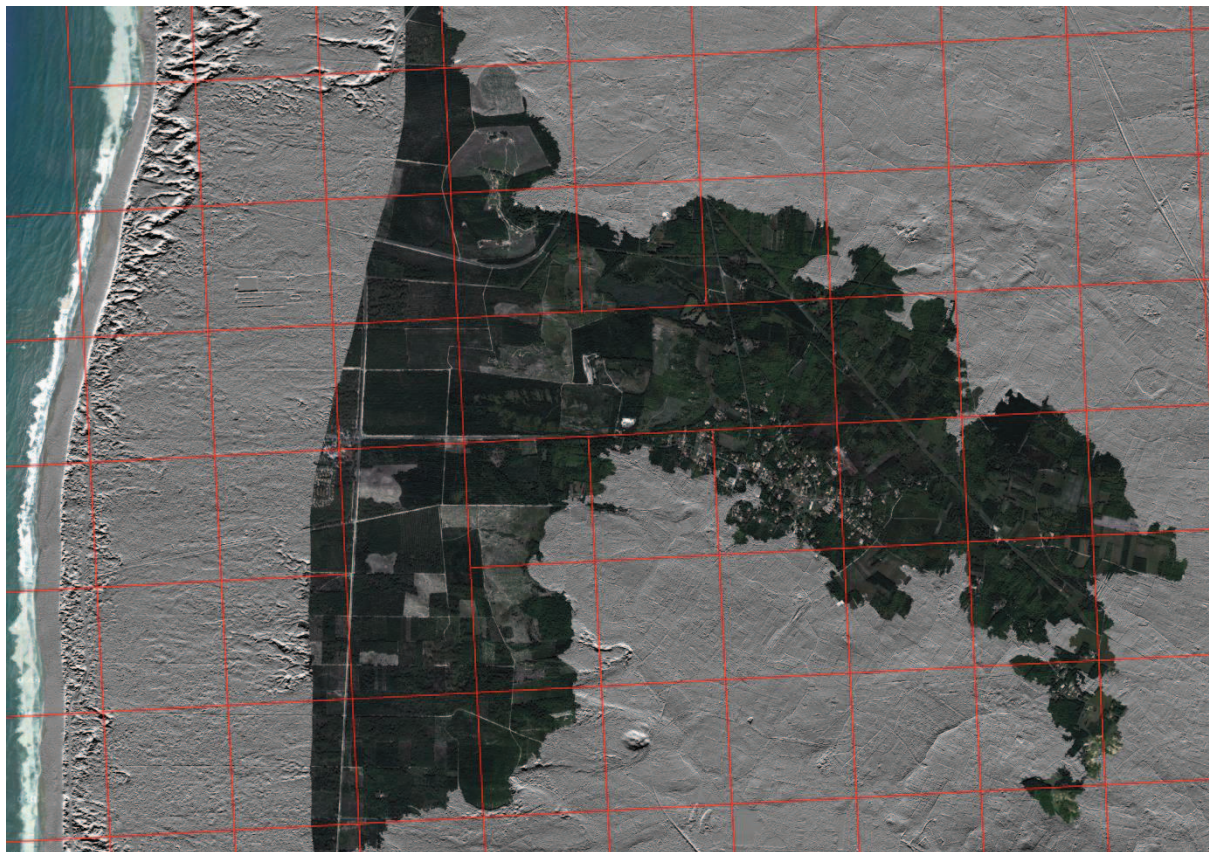


Figure 8 En rouge : emprise d'un MNT du RGE ALTI (1 Km²). En gris : les zones des MNT où les données d'altitudes sont présentes (représentées ici à l'aide de l'outil "rayonnement solaire global" ARCGIS 10.2)

3.3.2.3 Faible densité et irrégulière répartition des points

Avec le RGE ALTI nous disposons donc de fichiers stockant les nuages de points classés "sol" uniquement, représentant une surface d'1 km² chacun, issus de campagnes LiDAR aéroportées effectuées en octobre 2012⁶.

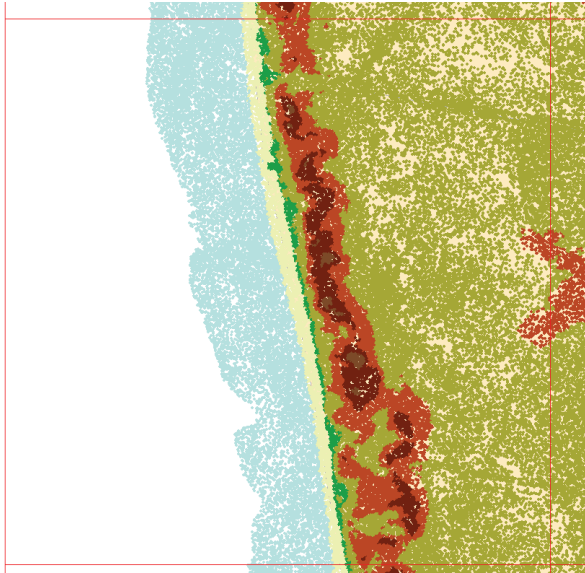


Figure 9 Représentation 2D d'un nuage de points (colorisées selon leur valeur d'altitude)

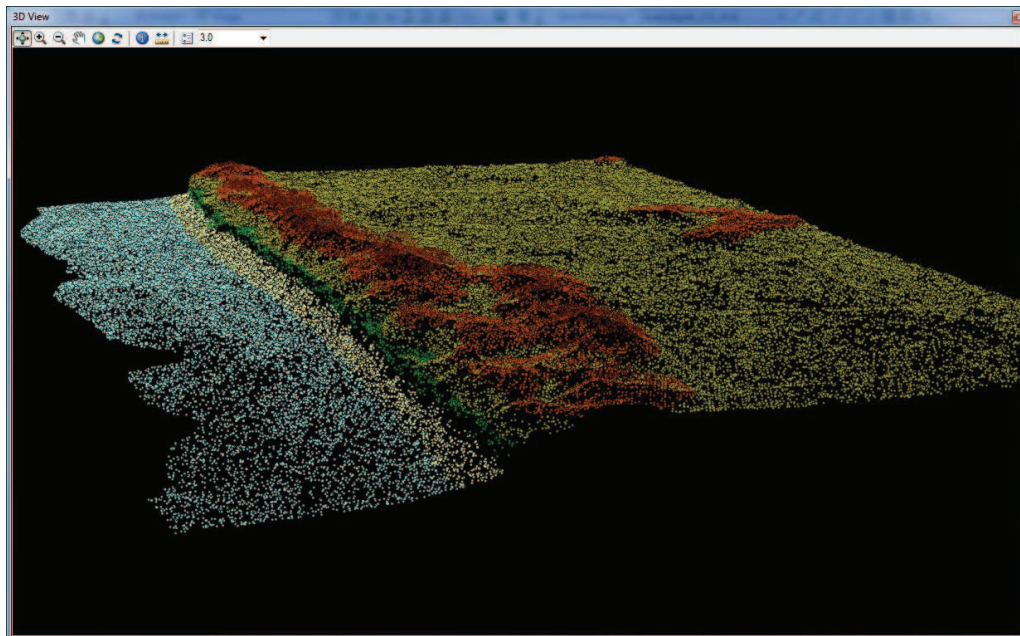


Figure 10 Représentation 3D d'un nuage de points (colorisés selon leur valeur d'altitude)

⁶ Contacté à ce sujet, L'IGN commercialise uniquement ces nuages de points déjà classifiés et triés. Il nous a été impossible d'obtenir les nuages de points bruts.



Même s'il est impossible de l'évaluer avec les données transmises par l'IGN, la fraction que représentent les points classés "sol" est sans doute très petite par rapport au nuage de points initial. Elle est en outre très variable selon les dalles. Cela s'explique principalement par le "milieu" caractérisant le secteur de la dalle en question :

- Il peut être en partie constitué de zones en eau, auquel cas il n'y aura pas de mesures LiDAR possibles sur ces zones compte tenu de la longueur d'onde utilisée pour l'émission du rayon laser (un LiDAR topographique émet ses pulsations laser dans la longueur d'onde du proche infrarouge, qui n'est pas réfléchi par l'eau)
- Le secteur peut être constitué de forêts où la densité de la végétation peut constituer une barrière plus ou moins poreuse à la pénétration des rayons laser.

Par ailleurs, les caractéristiques du télémètre laser (fréquence d'impulsion) et de son miroir oscillant (fréquence d'oscillation) ainsi que le comportement de l'avion en vol et celui de la pulsation laser lors de son déplacement dans l'atmosphère provoquent aussi une irrégulière répartition des points d'impacts laser au sol.

Pour le dossier "littoral" du RGE ALTI, où le couvert forestier est important, il est extrêmement rare de trouver des fichiers .las comprenant plus d'1 million de points classés "sol" (un fichier couvre 1 km²). On est donc le plus souvent, en moyenne, à moins de 1 point LiDAR / m², avec, de surcroît, une répartition spatiale des points extrêmement irrégulière. Les dunes du littorales constituent les zones des plus fortes densités de points classés "sol" : l'eau et la végétation y sont absentes. Même dans ces conditions favorables, il est rare de dépasser 2 points LiDAR / m² au sommet d'une dune. Les zones des plus faibles densités sont celles où le couvert forestier est très dense. Ce dernier peut parfois représenter une barrière infranchissable pour les pulsations laser. En ces endroits "extrêmes", il n'y aura donc pas de points classés "sol".

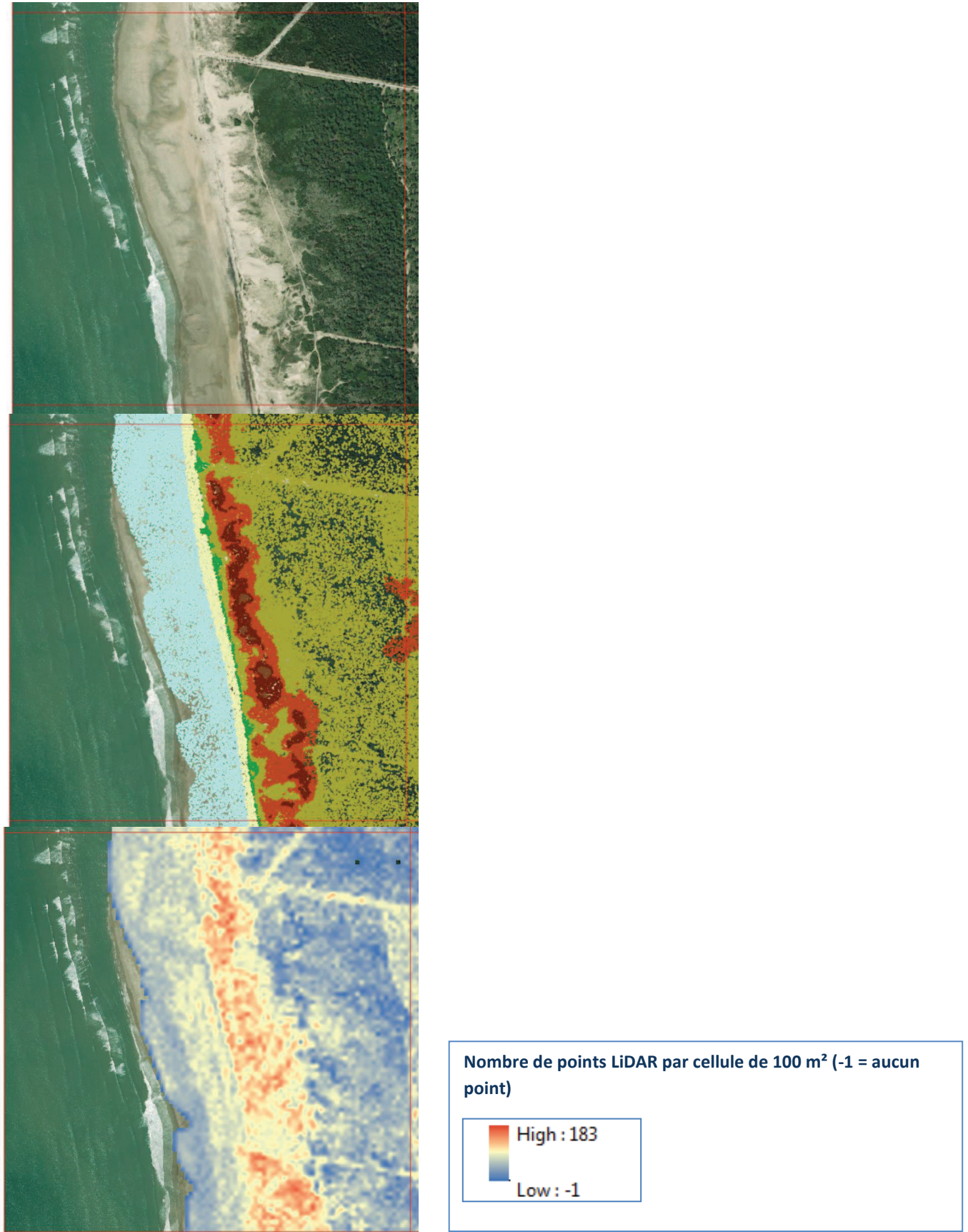


Figure 11 En haut : orthophotographie. Au milieu : nuage de points LiDAR 2D. En bas : densité de points LiDAR "sol" par cellule de 100m²

C'est à partir de cette faible densité de points irrégulièrement répartis que les MNT du RGE ALTI sont créés.

La régularité de la répartition des cellules de la matrice ne correspondant pas à l'irrégularité de la distribution spatiale des points, une valeur d'altitude portée par un point LiDAR ne pourra pas être forcément attribuée à une cellule de la matrice.

- soit parce qu'aucun point LiDAR ne se trouve sur l'emplacement d'une cellule
- soit parce que plusieurs points LiDAR se retrouvent dans la même cellule

Dans tous les cas, pour qu'une cellule de la matrice soit porteuse d'une valeur d'altitude unique, il faut choisir, trier parmi les valeurs disponibles aux alentours de la cellule. Plus précisément, il faut **estimer** cette valeur en prenant en compte les valeurs environnantes. C'est le rôle des algorithmes d'interpolation. Malgré notre insistance, les caractéristiques précises des algorithmes d'interpolation utilisés pour la construction des MNT du RGE ALTI ne nous ont pas été communiquées par l'IGN.

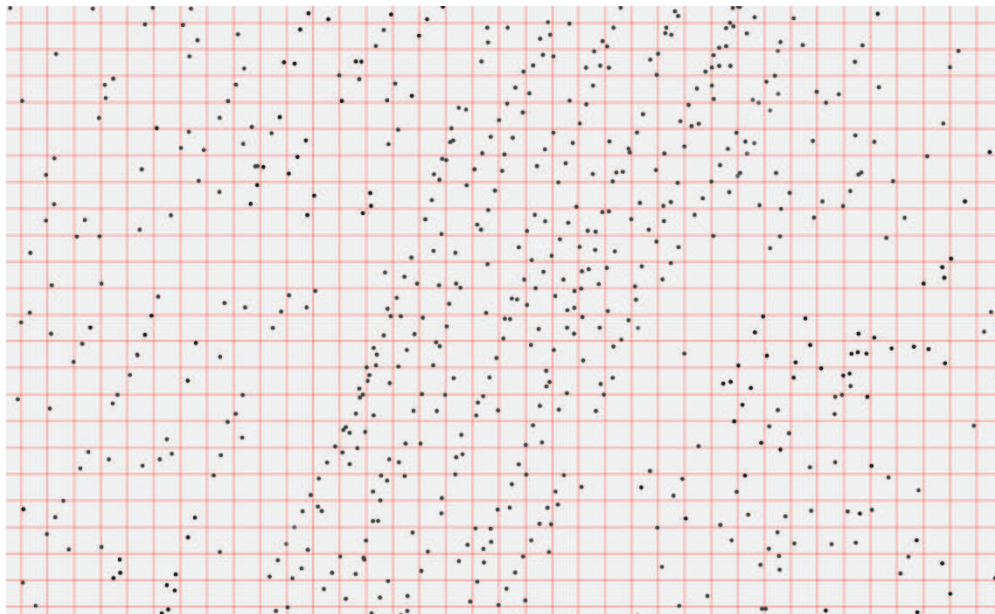


Figure 12 Irrégulière répartition spatiale des points LiDAR et régularité de la grille du MNT



3.3.2.4 Récapitulatif des caractéristiques de RGE ALTI "Aquitaine" (dossier "Littoral")

Données transmises par l'IGN à notre demande

Paramètres de vol	
Hauteur de vol	1000m
Vitesse de vol	80 m/s
Fauchée	+/- 24°
Capteur	ALTM3100EA (Optech Inc.)
Fréquence d'impulsion	100 kHz
Fréquence balayage	40 kHz
Longueur d'onde	1064 nm
Nombre de retours	4
Divergence	0.8 mrad
Nuage de points	
Densité minimum	2 points/m ²
Densité de points classés "sol"	1 point/ m ² en terrain dégagé
Précision planimétrique	60 cm
Précision altimétrique	30 cm
Traitement	
Logiciels classification	TerraScan
Méthode de classification	" Une macro de classification automatique utilisant principalement des critères morphologiques et de valeur d'écho est appliqué au nuage. Un contrôle ainsi que des corrections manuelles sont réalisés dans un second temps."
Génération de MNT	
Logiciel	TerraModeler
Méthode	Un MNT maillé est produit à partir d'un TIN calculé à la volé se basant sur le nuage classé



4 TECHNIQUES DE VISUALISATION DE MNT

4.1 Présentations des techniques retenues

Le RGE ALTI utilisé dans le cadre de LITAQ est livré avec des MNT construits à partir de valeurs d'altitudes déterminées par mesures LiDAR. Ces MNT, afin d'être exploités visuellement par les chercheurs impliqués dans le LITAQ, doivent prendre la forme d'images représentant de manière claire la surface du sol nu.

Les logiciels SIG proposent de nombreuses techniques permettant d'exploiter visuellement un MNT. La plupart sont assez faciles à mettre en œuvre : ce sont des outils "prêts à l'emploi" qui exigent de renseigner un nombre relativement limité de paramètres.

Nous avons sélectionné 8 techniques de visualisation parmi les plus connues et documentées.

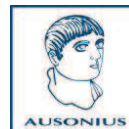
- "Hillshading" (raster d'ombrage)
- "Composite Bands" (canaux composites)
- "MDOW - Multi Directional Oblique-Weighted Shaded-Relief Image"
- "PCA - Principal Component Analysis" (Analyse en Composante Principale)
- "Sky View Factor" et "Solar radiation" (rayonnement solaire)
- "TPI - Topographic Position Index"
- "Slope" (raster de pente)
- Adaptation de la rampe colorimétrique

Sept techniques ont été testées avec ArcGIS 10.2 "Advanced", comportant notamment les extensions « Spatial Analyst » et « 3D Analyst ».

Parmi elles, MDOW et TPI nécessitent les téléchargements de 2 extensions développées par Jenness Enterprises. Les extensions sont librement téléchargeables (http://www.jennessent.com/arcgis/arcgis_extensions.htm). Il faut disposer des extensions (payantes) Spatial Analyst et 3D Analyst d'ArcGIS :

- **DEM Surface Tools** (pour entreprendre la technique MDOW)
- **Land Facet Corridor Tools** (pour entreprendre la technique TPI)

La technique PCA a été testée à l'aide du programme "**Relief Visualization Toolbox (RVT)**". Librement téléchargeable (<http://iaps.zrc-sazu.si/en/svf#v>), développé en IDL et fonctionnant comme une "machine virtuelle" : la "**Relief Visualization Toolbox**" développée par le Centre de Recherche de l'Académie Slovène des Arts et Sciences (ZRC SAZU), permet en outre d'accomplir d'autres tâches de visualisation à partir d'un MNT (voir plus loin).



La plupart se retrouvent néanmoins dans d'autres logiciels :

Logiciel	Hillshade	Composite Bands	MDOW	PCA	Sky View Factor / Solar Radiation	TPI	Slope	Colour Cast Shading
ArcGIS 10.2 "Advanced"	X	X	X	X	X	X	X	X
QGIS	X						X	X
SagaGIS	X	X		X	X		X	X
Grass	X	X		X	X		X	X
RVT	X	X		X	X		X	

4.1.1 Raster d'ombrage (Hillshade)

La production d'un raster d'ombrage pour visualiser un MNT est la technique la plus communément utilisée. Elle est en effet simple à paramétrer et très rapidement exécutée par les ordinateurs. Le principe consiste à "éclairer" une scène à l'aide d'une source lumineuse virtuelle dont on contrôle la position dans le ciel (azimut et angle au-dessus de l'horizon). Par défaut, dans ArcGIS, l'azimut est 315° et l'angle au-dessus de l'horizon est 45°, valeurs couramment employées en cartographie classique pour souligner le relief, contribuant ainsi à une compréhension rapide de l'image.

Les algorithmes élaborant le raster d'ombrage prennent en compte la position de la source lumineuse dans le ciel mais aussi la pente et l'orientation de la surface éclairée. Tous ces paramètres permettant d'adapter le gradient de couleur à appliquer à la surface, généralement affichée en niveaux de gris. Plus la surface est pentue et exposée à la source lumineuse, plus elle sera claire. Une surface pentue et opposée à la source lumineuse sera très sombre.

Malgré sa facilité de production et des résultats globalement satisfaisants dans la plupart des usages, ce type d'image présente des inconvénients susceptibles de fausser la lecture du terrain qu'elle représente.

Le premier handicap est la création de zones très sombres ou au contraire extrêmement claires correspondant aux surfaces les moins ou les plus exposées à l'éclairage virtuel. Dans ces portions de l'image, il est très difficile voire impossible de percevoir le relief et encore moins les petits indices topographiques.

Le deuxième handicap majeur est que ce type d'image tend à faire disparaître les éléments linéaires parallèles aux rayons lumineux

Afin de contourner ces obstacles, il est nécessaire de multiplier la production d'images avec des orientations d'éclairage différentes. Mais la consultation de ces amas d'images peut rapidement devenir fastidieuse. C'est pourquoi d'autres techniques ont été élaborées afin de cumuler en un nombre d'images limité les bénéfices d'orientations d'éclairages multiples.

Dans ArcGIS 10.2 :

- 3D Analyst Tools/Raster/Raster-Surface/Ombrage
- ou
- SpatialAnalyst Tools/Surface/Ombrage



Figure 13 Raster d'ombrage (azimut 315° angle sur l'horizon 45°)

Selon l'orientation de la source d'illumination, des éléments topographiques, notamment linéaires, peuvent disparaître complètement



Figure 14 Raster d'ombrage (azimut 45° angle sur l'horizon 45°)

4.1.2 Canaux composites (Composite Bands)

Afin de dépasser les limites visuelles inhérentes au raster d'ombrage "simple", une technique de visualisation consiste à associer 3 rasters d'ombrage au sein d'une même image couleur RGB (Red, Green, Blue). Un raster d'ombrage sera affecté à un canal de couleur de l'image RGB. Il est ainsi possible de "fusionner" en une seule image 3 rasters d'ombrages aux orientations d'illumination différentes, multipliant ainsi les chances de détection d'éléments topographiques. Les sources d'illumination n'étant toutefois qu'au

nombre de 3, certains indices peuvent néanmoins rester invisibles. Par ailleurs, la coloration de l'image peut perturber quelque peu la lecture du relief.

Dans ArcGIS :

→ **DataManagement Tools/Raster/Traitements raster/Canaux composites**

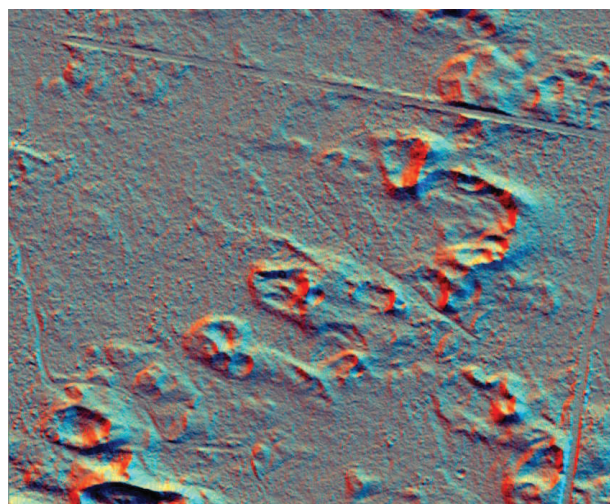


Image RGB incorporant 3 hillshades différents :

- canal rouge : hillshade azimuth 45° horizon 45°
- canal vert : hillshade azimuth 75° horizon 45°
- canal bleu : hillshade azimuth 315° horizon 45°

Dans la fenêtre "Propriétés" du raster, il est possible de changer l'affectation de chaque hillshade aux 3 canaux de couleurs, modifiant alors les teintes de l'image.

Figure 15 Image "Composite Bands" ArcGIS 10.2

4.1.3 MDOW - Multi Directional Oblique-Weighted Shaded-Relief Image⁷

Méthode combinant en une seule image 4 sources d'éclairages séparés de 45° d'azimut et possédant toutes la même valeur d'élévation au-dessus de l'horizon, dont les propriétés d'illumination sont pondérées par l'orientation et la sévérité des pentes du relief de la zone considérée. L'objectif est de privilégier systématiquement un éclairage oblique, évitant ainsi de masquer des éléments topographiques sous des "aplats" de couleurs claires ou sombres (surexposition/sous-exposition) comme dans un raster d'ombrage conventionnel. Ces zones saturées ne sont toutefois pas complètement éradiquées.

Le contraste de l'image n'est pas aussi prononcé que dans un ombrage classique et la compréhension de l'image moins immédiate. Des détails topographiques restent par ailleurs invisibles car seules 4 sources d'éclairage sont cumulées.

La production de rasters d'ombrages MDOW peut être réalisée dans ArcGIS grâce à l'extension **DEM Surface Tools** développée par Jenness Enterprises. L'extension est librement téléchargeable (http://www.jennessent.com/arcgis/arcgis_extensions.htm). Il faut disposer des extensions (payantes) Spatial Analyst et 3D Analyst.

⁷ Un bref article pour comprendre la méthode MDOW : MARK Robert, "Multidirectional, oblique-weighted, shaded-relief image of the island of Hawaii", *U.S. Geological Survey*, Open File 92-422, 2005

Le manuel de l'extension ArcGIS "DEM Surface Tools" contient une description de la méthode: "DEM Surface Tools, An ArcGIS extension for analysing raster elevation datasets", Jeff Jenness, Jenness Enterprises

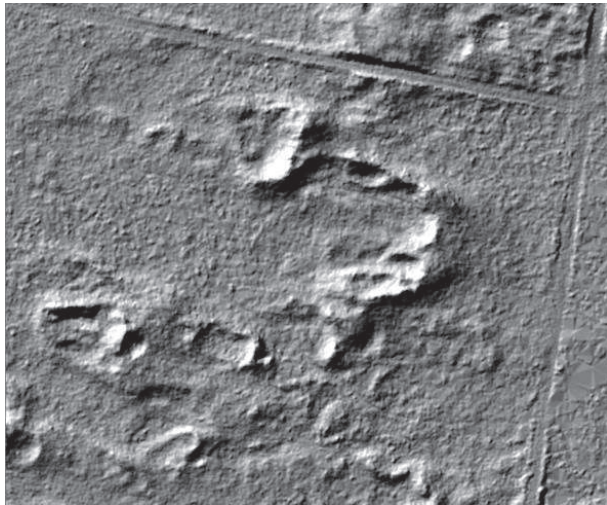


Figure 16 Raster d'ombrage azimut 315° angle au-dessus de l'horizon 45

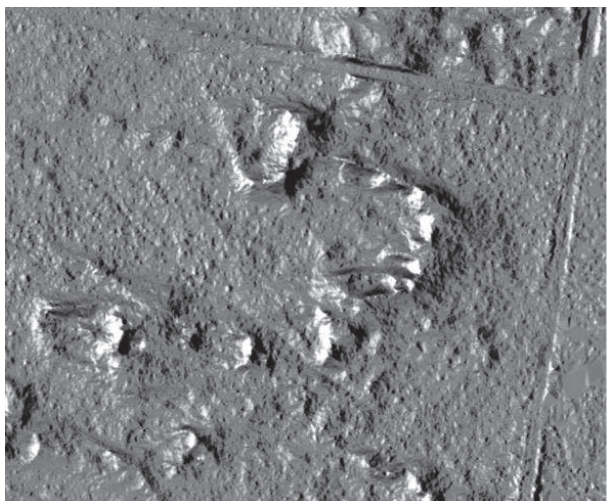


Figure 17 MDOW azimuts 270°-315°-0°-45°, angle au-dessus de l'horizon 30°

4.1.4 Analyse en Composante Principale (PCA - Principal Component Analysis)

En statistique multivariée, l'analyse PCA permet de simplifier un jeu de données complexes corrélées. Le jeu de données initial est alors décomposé en plusieurs parties ("composantes") ne possédant plus de corrélation entre elles. Le processus vise à concentrer dans quelques composantes la majorité des caractéristiques présentes dans le jeu de données initial. Typiquement, dans ce type d'analyse, seules 3 composantes produites contiennent plus de 99% des informations originelles, de sorte que l'on peut estimer connaître suffisamment le phénomène étudié à l'aide de ces 3 composantes principales.

Une série de rasters d'ombrages produits de manière systématique sur une même scène (avec une régularité contrôlée dans les écarts entre les valeurs d'azimuts et un angle constant au-dessus de l'horizon) peut être assimilée à un jeu de données corrélées entre elles. L'analyse PCA sur de telles données vise alors à produire 16 rasters d'ombrages et de



"résumer" la majorité (plus de 99%) des informations qu'ils contiennent dans 3 rasters d'ombrages principaux. Ces 3 images peuvent alors être "fusionnées" au sein d'une même image en les affectant à l'un des 3 canaux de couleur (voir précédemment "Composite Bands"). Les multiples sources d'éclairage ainsi cumulées en une seule image permettent de révéler des éléments topographiques qu'une source lumineuse unique aurait ignorés.

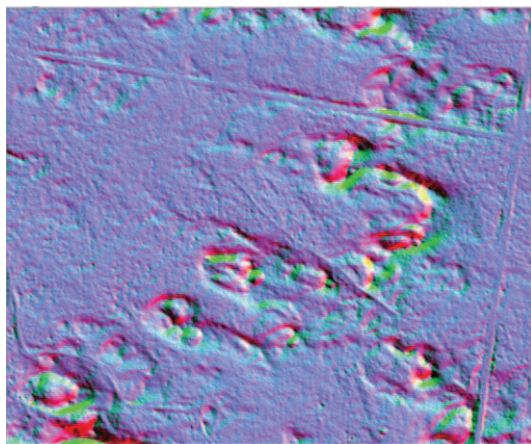
Toutefois, les 3 composantes principales ne comportant pas la totalité des informations originelles, des détails peuvent se trouver dans des composantes de rangs inférieurs, obligeant alors à trouver empiriquement les bonnes combinaisons d'images. Notons par ailleurs que dans les outils permettant d'utiliser la technique PCA décrits ci-après, seules les 3 composantes principales sont disponibles, les autres ne sont pas manipulables.

Enfin, la multiplicité des éclairages peut rendre la compréhension de l'image moins immédiate, donnant l'impression parfois de relief "inversé". Le problème peut être contourné, dans ArcGIS 10.2 en modifiant les propriétés de la symbologie de l'image, en cochant la case "inverser".

L'outil "PCA" existe dans **ArcGIS**, mais implique de produire au préalable le jeu de rasters d'ombrages qui sera analysé (16 images en règle générale).

→ **SpatialAnalyst Tools**/Multivariés/Composantes principales

Le programme "**Relief Visualization Toolbox**" est capable d'accomplir une analyse PCA complète, depuis la création des 16 hillshades jusqu'à la production d'une image RGB "fusionnant" les 3 premières composantes de l'analyse



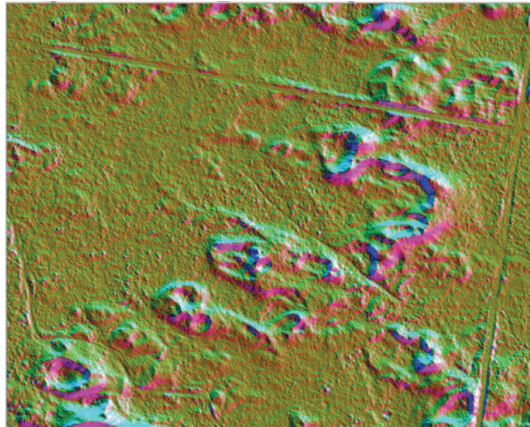


Figure 18 Les 3 premières composantes d'une analyse PCA de 16 hillshades, combinées au sein d'une image RGB (en haut : impression de relief "inversé", en bas : modification de la symbologie pour supprimer l'inversion du relief)

4.1.5 Rayonnement solaire (Sky View Factor et Solar radiation)

Le Sky View Factor (SVF) est un paramètre géophysique mesurant la portion de ciel visible au-dessus d'un point. Initialement développé pour calculer le rayonnement solaire sur des surfaces, il peut être adapté à des usages archéologiques afin de produire des images permettant de représenter les zones de la surface terrestre recevant plus ou moins de rayonnement solaire.

En fonction de l'étendue de ciel visible depuis un point, et tenant compte du relief encerclant le point et obstruant plus ou moins fortement l'horizon, des valeurs colorimétriques sont affectées au pixel (correspondant au point) dans l'image produite. S'il ne perçoit qu'une faible portion de l'hémisphère céleste le surplombant, sa teinte sera sombre. Si une grande partie de l'hémisphère céleste le surplombant est visible, la teinte de ce point sera plus claire.

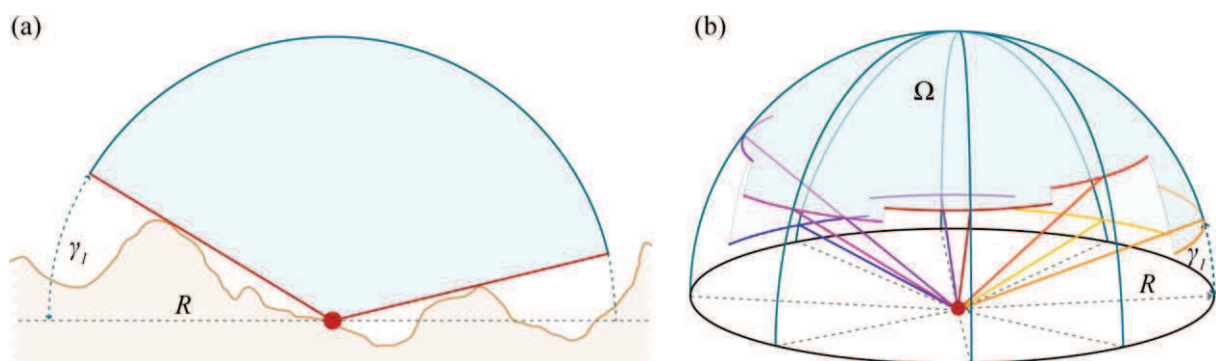


Figure 19 Sky View Factor : calcul de la portion de ciel visible depuis un point

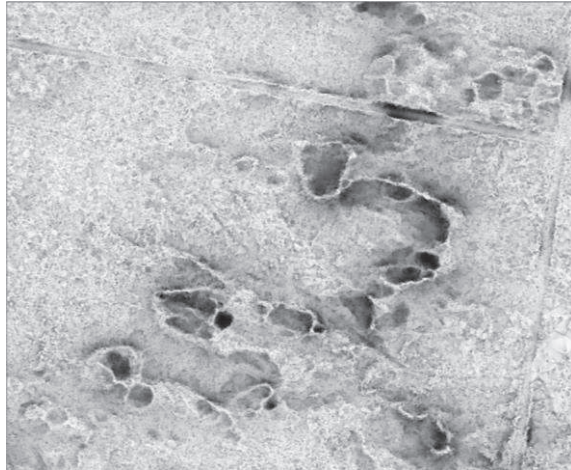


Figure 20 SVF avec Rayon (R) = 50m et 8 partitionnements de l'hémisphère

La visualisation d'un MNT à l'aide du SVF met fortement en exergue les formes convexes, concaves ou planes (Image 8).

Il est possible de modifier la taille de l'hémisphère céleste servant au calcul du SVF pour chaque point. La taille de l'hémisphère est définie par le rayon (R) du cercle formant sa base (exprimé en nombre de pixels dans les logiciels proposant cet outil). Un hémisphère de petite taille sera plutôt adapté à la recherche de petits éléments topographiques.

Il est également possible de modifier le nombre de secteurs partitionnant l'hémisphère. Plus leur nombre est important (16 maximum généralement), plus les obstacles obstruant l'horizon autour du point calculé seront analysés finement. Les temps de calculs seront par ailleurs beaucoup plus longs.

La lecture de la topographie de la zone étudiée n'est pas aussi immédiate que celle d'un raster d'ombrage simple, mais les limites de ce dernier peuvent être contournés grâce au SVF, notamment dans la détection de structures linéaires. Toutefois, dans les zones de fortes pentes, le problème des zones très saturées demeure.

→ Le Sky View Factor est disponible dans la "**Relief Visualization Toolbox**" évoquée plus haut. Il est calculé en prenant en compte une illumination diffuse.

Pour les images codées en 32 bit, la valeur du Sky View factor est visible, elle est comprise entre 0 et 1. Une valeur proche de 0 signifie que le point ne perçoit qu'une petite portion de ciel; une valeur proche de 1 signifie qu'une grande portion de ciel est visible en ce point.

→ Le "**Sky View Factor**" est également disponible dans **ArcGIS**, mais sous une autre appellation : "Rayonnement diffus", disponible dans l'outil suivant :

- **Spatial Analyst Tools/Rayonnement solaire**

L'outil " Rayonnement solaire" disponible dans **ArcGIS**, reprend le même principe que le SVF : calculer le rayonnement solaire sur des surfaces en déterminant les portions de ciel visible depuis des points au sol. Les paramètres modifiables sont toutefois beaucoup plus nombreux dans cet outil que dans la "**Relief Visualization Toolbox**". Il est ainsi possible de choisir parmi plusieurs types de rayonnement : global, direct ou diffus.

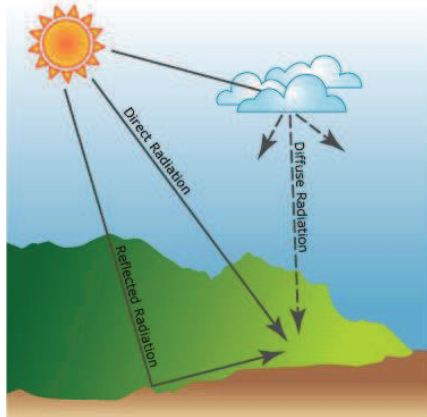
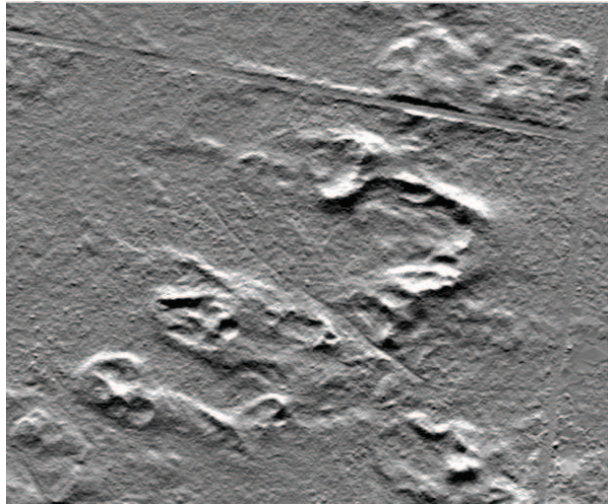


Figure 21 Les différents types de rayonnements solaires

Le SVF calcule un rayonnement solaire diffus. Si cette option est activée dans l'outil "Rayonnement solaire" d'ArcGIS, le raster généré est visuellement très proche (même si les algorithmes mobilisés sont différents) de celui produit à l'aide de la "**Relief Visualization Toolbox**" (dans ArcGIS, les valeurs des pixels expriment alors le rayonnement en Watts-Heure/m²). En outre, générer un raster de rayonnement solaire diffus dans **ArcGIS** implique nécessairement la création simultanée d'un raster de rayonnement global (rayonnement direct + diffus), ce qui rallonge quelque peu les temps de calculs.

L'outil "Rayonnement solaire" d'**ArcGIS**, outre la possibilité de choisir entre plusieurs types de rayonnements, permet de déterminer leur durée : jours, mois, années. D'autres subtilités peuvent être apportées dans les calculs comme les caractéristiques de l'atmosphère du ciel surplombant les points de calculs, affectant ainsi les propriétés du rayonnement. Toutefois, pour une analyse strictement visuelle, la modification de ces paramètres n'a que peu d'impact, si ce n'est les temps de traitement qui peuvent devenir démesurément longs (seule la technique TPI employée avec certains paramètres "extrêmes" requiert encore plus de temps de calculs). La lecture des rasters de **rayonnements globaux ou directs** est en outre extrêmement aisée, s'apparentant à celle des rasters d'ombrages (niveaux de gris, simulations d'ombres portées), mais sans nombre des inconvénients inhérents à ces derniers (disparition des structures linéaires parallèles au rayonnement, zones fortement saturées).



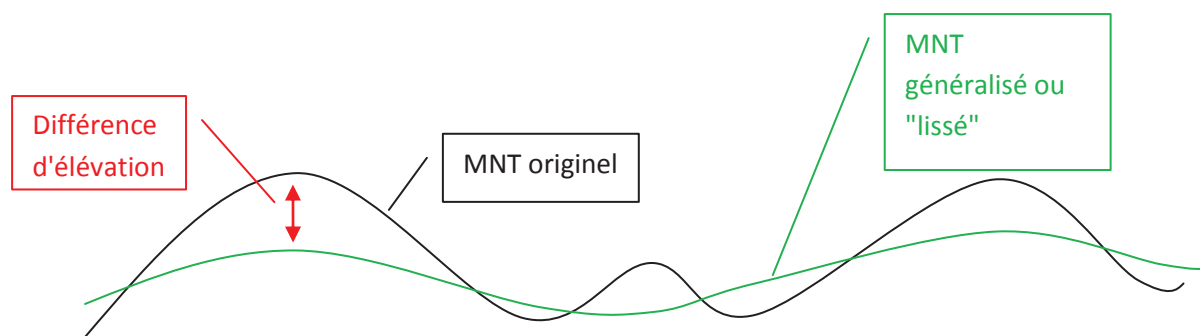
Principaux paramètres utilisés pour la production de l'image (image test pour illustration, sans recherches de performances particulières):

Outil : Rayonnement Solaire Zonal
 Type de rayonnement calculé : Global (direct + diffus)
 Sky Size : 200 pixels
 Durée du rayonnement : du 5 Janvier 2014 au 5 Février 2014)
 Nombre de jours d'intervalle : 14
 Calculations directions : 8
 Azimuth divisions : 8
 Temps de génération : 43min 20sec (MNT de 2000 x 3000 pixels)

Figure 22 Image "Global Solar Radiation" d'ArcGIS

4.1.6 Une technique de soustraction de MNT : "TPI - Topographic Position Index"

Une méthode de visualisation de MNT consiste à produire, à partir d'un MNT original, des MNT généralisés (nommés également "trend"), dont les valeurs d'altitude sont "lissées"⁸, puis de soustraire ces derniers au MNT original. L'objectif n'est pas de révéler la topographie du lieu étudié par un jeu de lumières, mais de dissocier les variations topographiques de grande échelle et celles de petite échelle. La taille et les fonctions de calcul de l'opérateur de lissage sont déterminantes pour l'extraction des éléments recherchés. Il est ainsi théoriquement possible de rechercher, en faisant varier la taille de l'opérateur, des structures plus ou moins grandes présentes dans le MNT original.

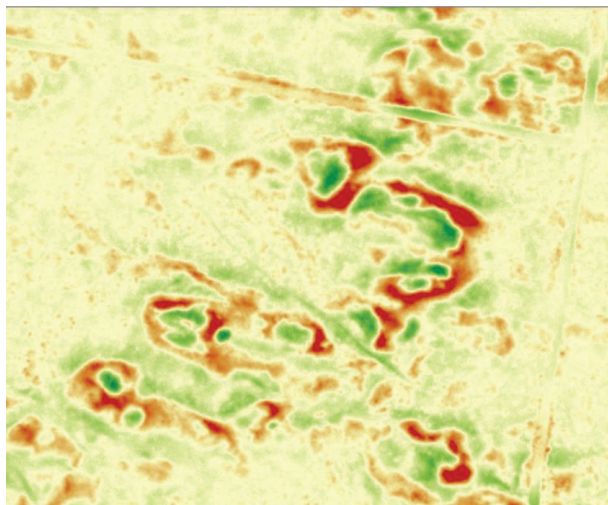


Avec cette méthode, le MNT "lissé" est produit en calculant la moyenne des valeurs des pixels situés dans le voisinage de chaque pixel du MNT original. Ces nouvelles valeurs calculées sont ensuite soustraites à celles du MNT original. Le raster TPI comporte ainsi des pixels dont les valeurs indiquent (en mètres si ce sont les unités du système de référence du MNT) l'élévation du point par rapport à la moyenne des pixels environnants. Une valeur de 1

⁸ Par lissage, on entend la suppression des forts écarts de valeurs entre des points de l'image spatialement proches.

signifie que ce point est d'1 mètre supérieur à la moyenne des élévations des points environnants. La forme et la taille du voisinage pris en considération influencent donc grandement le résultat. Le calcul de l'indice TPI d'une cellule à l'aide d'un petit voisinage mettra en évidence de petites anomalies topographiques. Un grand voisinage révélera les mouvements plus amples du terrain (les temps de traitements seront extrêmement longs).

La production d'un raster TPI peut être réalisée grâce à l'extension "**Land Facet Corridor Tools**" développée par Jenness Enterprises. L'extension est librement téléchargeable (http://www.jennessent.com/arcgis/arcgis_extensions.htm). Il faut disposer des extensions (payantes) Spatial Analyst et 3D Analyst.



Principaux paramètres utilisés pour la production de l'image (image test pour illustration, sans recherches de performances particulières):
Filtre : circulaire
Rayon du filtre : 30 pixels

Figure 23 Raster TPI : visualisation de différences d'élévations

4.1.7 Raster de pente (Slope)

La production d'un raster de pente est facilement réalisable et peut permettre la détection de microreliefs. Un tel outil calcule, à partir d'un MNT originel et pour chaque cellule du MNT, le taux de variation maximale de la valeur d'élévation de la cellule par rapport à ses cellules voisines (généralement les 8 cellules l'encerclant). Cela permet de déterminer l'inclinaison (en degrés par exemple) de la pente en ce point. L'application de valeurs de couleurs aux valeurs d'inclinaison permet de visualiser aisément les zones de "rupture de pente". En utilisant une rampe de couleurs en niveaux de gris inversée (les pentes les plus abruptes sont les plus sombres, les zones planes sont claires), la qualité de lecture d'une telle image se rapproche de celle d'un raster d'ombrage. N'utilisant pas une source d'illumination virtuelle pour représenter le relief, le raster de pente peut potentiellement révéler des détails invisibles dans un raster d'ombrage simple. Toutefois, sans connaissance préalable du terrain observé, il est très difficile de savoir instantanément si la pente est positive ou négative, puisqu'une même valeur d'inclinaison recevra la même valeur colorimétrique. Par ailleurs, les pentes les plus douces n'apparaîtront pas aussi clairement, alors qu'elles peuvent être des indices topographiques importants.

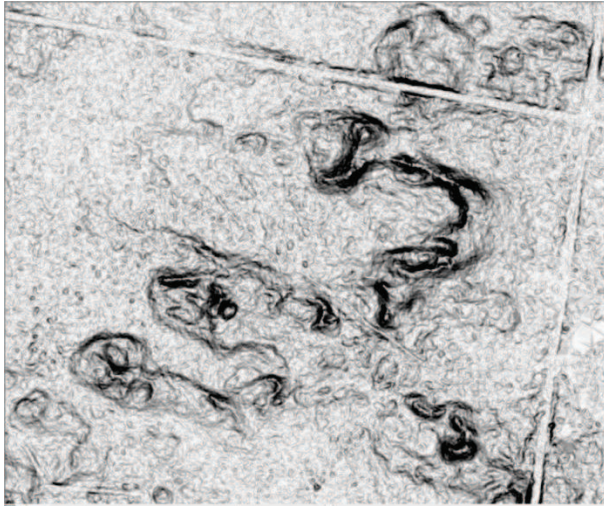
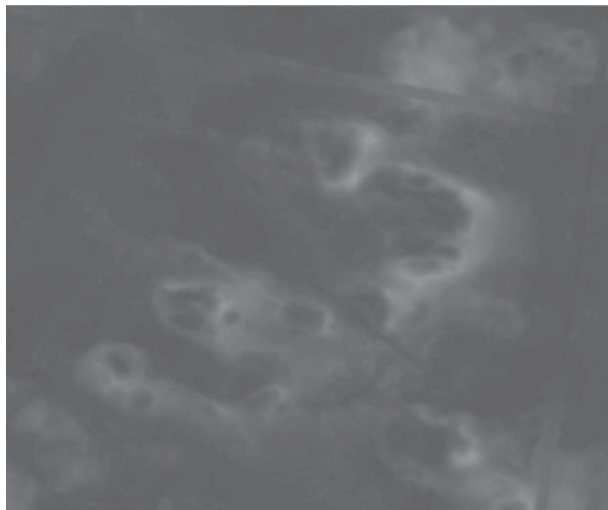


Figure 24 Raster de pente

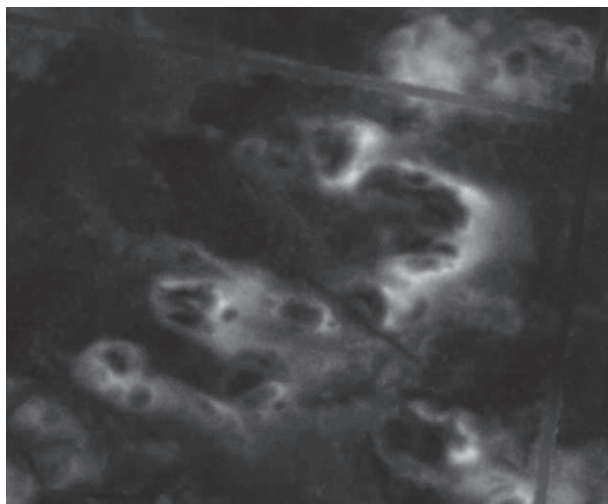
4.1.8 Adaptation de la rampe colorimétrique

Une méthode simple et rapide pour améliorer la visualisation d'éléments d'un MNT est de concentrer la rampe colorimétrique sur une fourchette de valeurs altimétriques réduite. Plutôt que d'appliquer le dégradé de couleurs à toute l'étendue des valeurs d'altitudes contenues dans le MNT, seule une petite portion de ces valeurs, ciblée en fonction de ce que l'on recherche, recevra la totalité des nuances de la rampe de couleurs. La répartition de la même quantité de teintes sur une plage de valeurs d'altitudes plus petite peut permettre de mettre en exergue des détails qui seraient restés plus discrets au sein d'une même couleur. L'inconvénient est évidemment de rejeter les valeurs d'altitude non retenues dans des teintes monochromes.



La plage d'élévations du MNT : min = -1.12m; max = 31.44m
La rampe de couleurs (niveaux e gris) s'étire sur toute la plage d'élévations

Figure 25 MNT avec rampe de couleurs s'appliquant sur toute la plage de valeurs d'élévation



La plage d'élévations du MNT : min = -1.12m; max = 31.44m
La rampe de couleurs (niveaux e gris) est appliquée sur la plage d'élévations min = 10m; max = 20m

Figure 26 MNT avec rampe de couleurs s'appliquant sur une partie de la plage de valeurs d'élévation

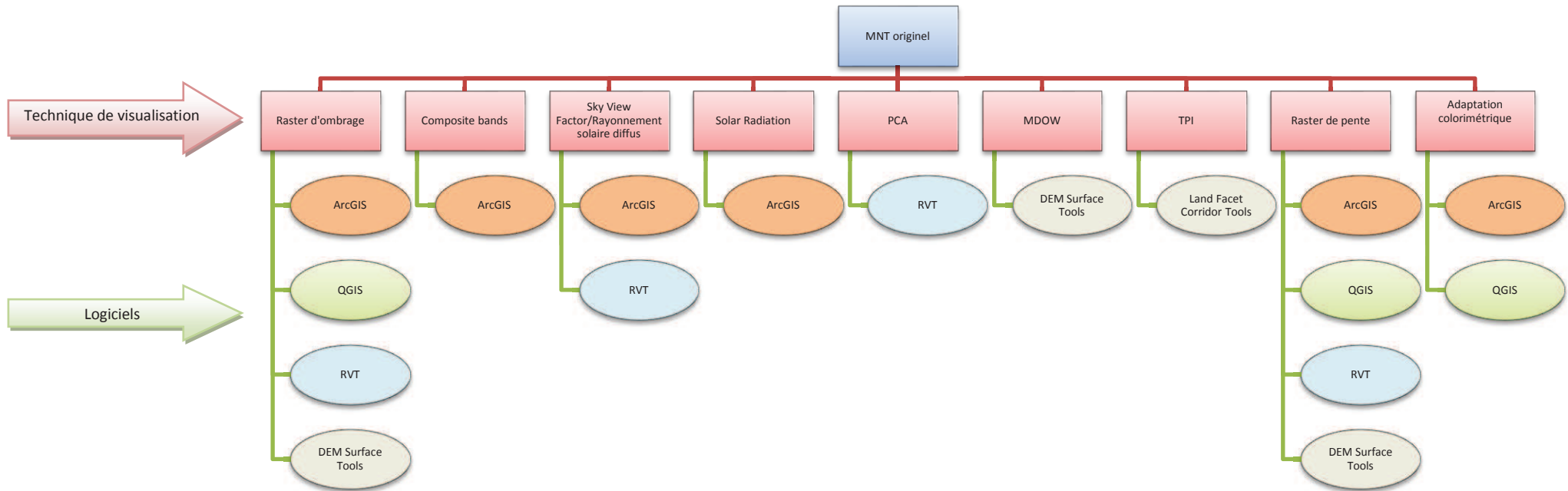


Figure 27 Les méthodes de visualisation et outils testés

4.2 Présentation de 5 sites-tests

Nous avons cherché à tester les techniques de visualisation de MNT sur des secteurs étudiés par LITAQ (et plutôt axés sur la détection/analyse d'indices archéologiques) présentant des milieux variés (forêt, zone dunaire, plaine drainée etc.). Nous présentons ici les 5 principaux sites du Nord Médoc ayant servi à comparer les différentes méthodes de visualisation.

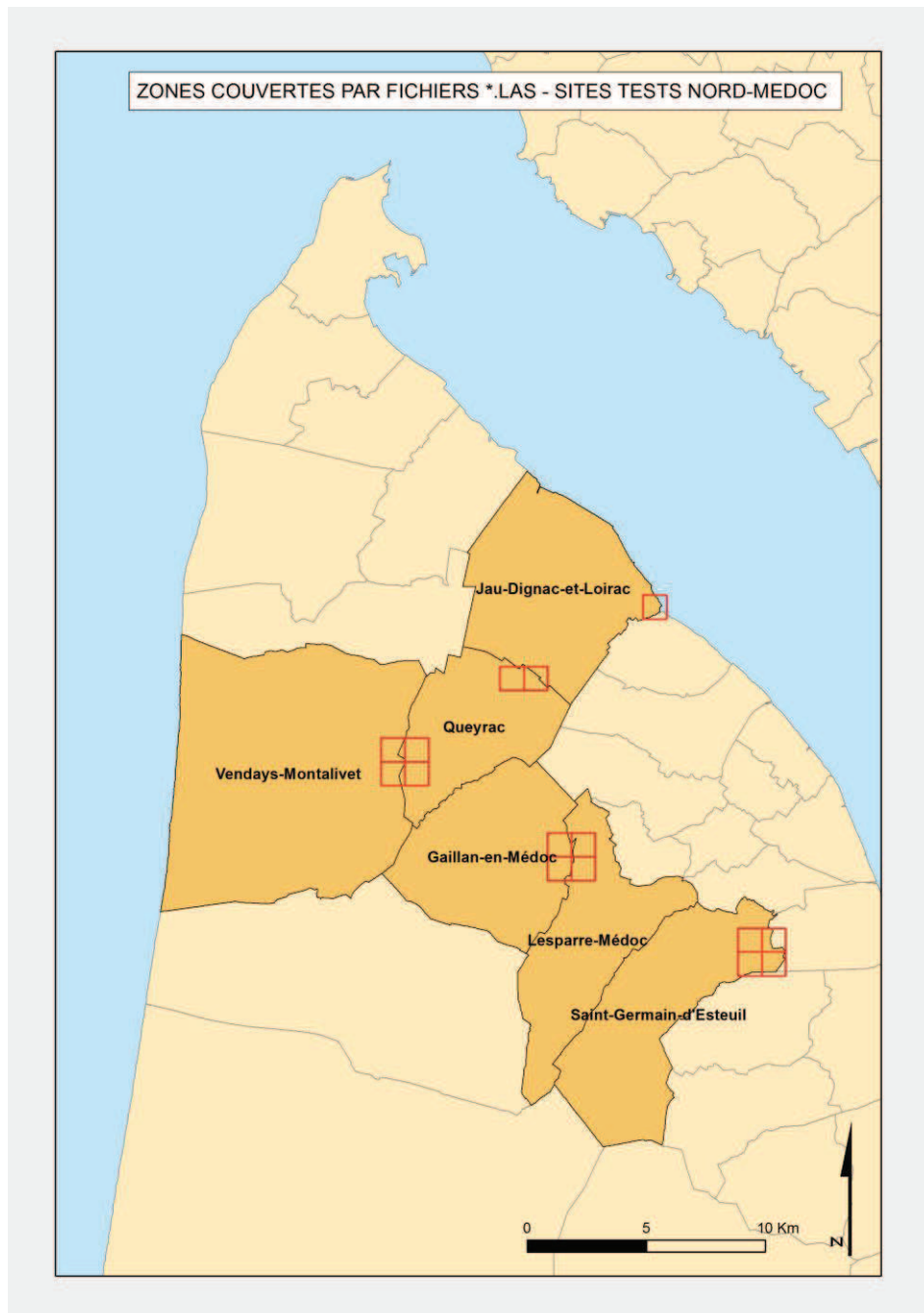


Figure 28 Carte de répartition de 5 sites-test (Nord-Médoc)

4.2.1 Tumulus des communes de Queyrac et Vendays-Montalivet (1°02'16.5" W - 45°20'44.3" N)

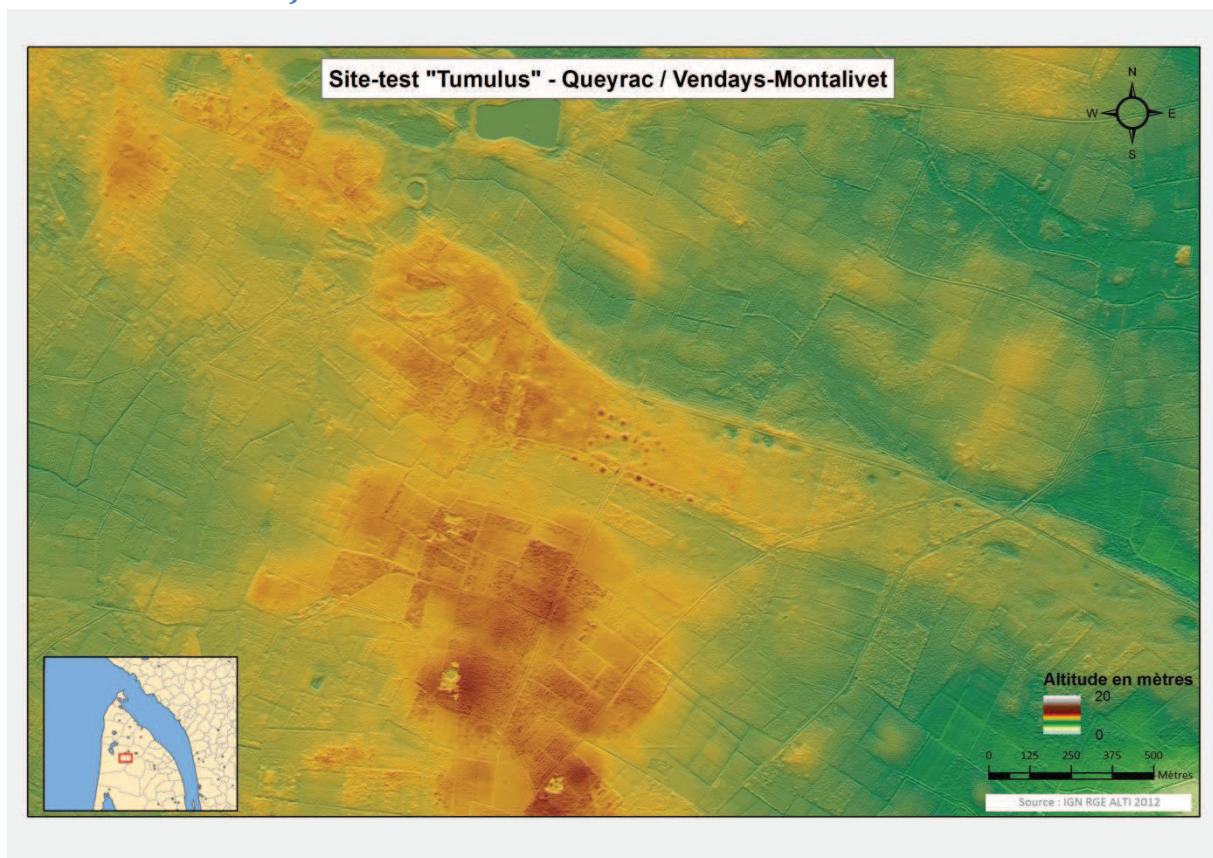


Figure 29 Site-test "tumulus"

Ce site est principalement constitué de parcelles boisées (conifères) avec un sous-bois assez dense (fougères etc.). Par conséquent, la densité moyenne de points LiDAR est faible : 0.75 point/m² sur les 2 km² que représente la zone.

Dans ce secteur, un groupe de tumulus est connu et a fait l'objet de relevés GPS en 2013. Notons au passage que la précision de la valeur d'altitude de ces relevés a souffert du fort couvert végétal. Ce site permet de mesurer la capacité des MNT du RGE ALTI et des techniques pour les visualiser à détecter des éléments archéologiques plus ou moins importants en milieu forestier (25 m de diamètre et 2m de hauteur environ pour le plus gros des tumulus connus de ce groupe; 10m de diamètre et moins de 1m de hauteur pour le plus petit).

4.2.2 "Mur de Gaillan", Gaillan en Médoc (0°56'48.9" W - 45°18'49.7" N)

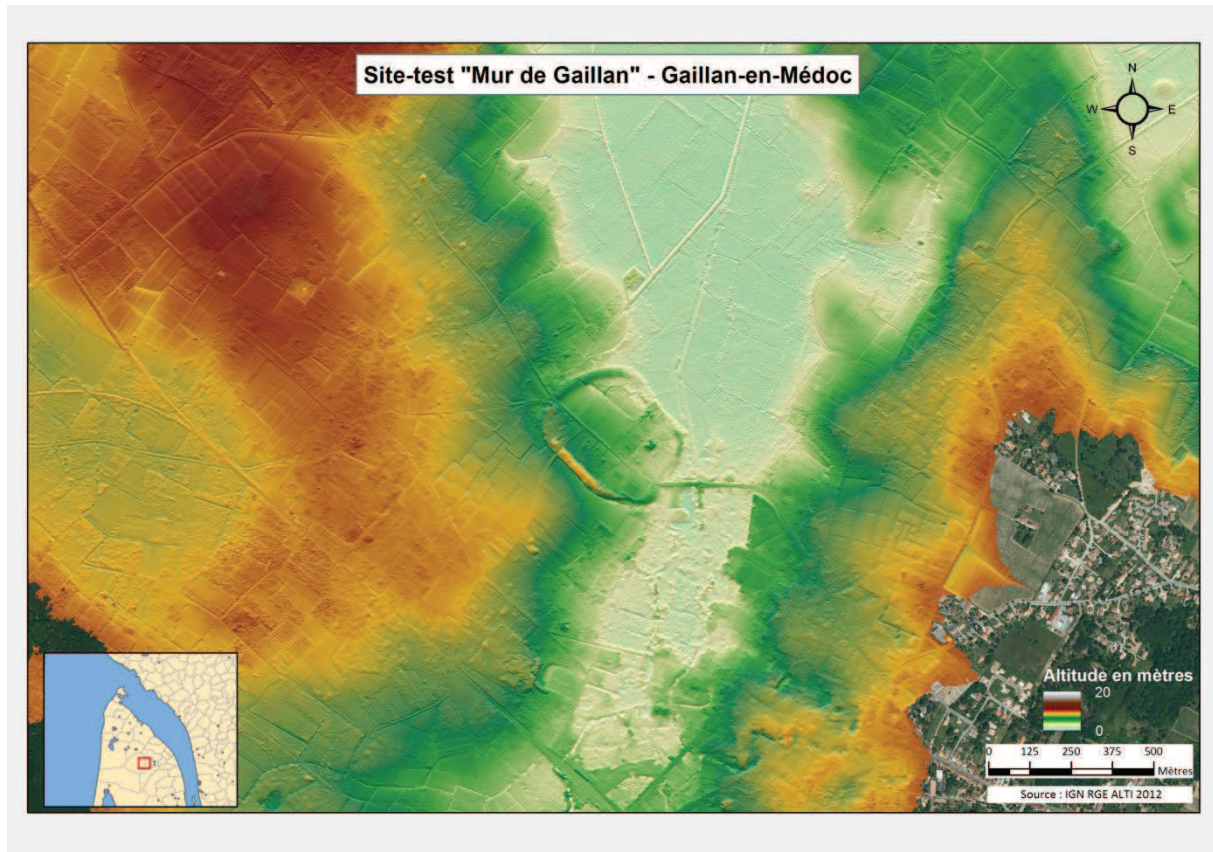


Figure 30 Site-test "Mur de Gaillan"

Ce site est constitué d'un "talus" dépassant 3m de hauteur par endroit et formant une enceinte vaguement circulaire dont la fonction n'est pas clairement établie. La particularité du site étant que le "talus" proprement-dit est couvert d'une végétation très dense (feuillus) rendant l'étude de sa structure très difficile depuis le sol. Ce site-test permet de mesurer la capacité des MNT du RGE ALTI et des techniques pour les visualiser à servir d'appui à l'étude d'une structure archéologique en zone boisée extrêmement dense. Le secteur-test représente 2km² pour une densité moyenne de points très faible de 0.6 point/m².

4.2.3 Agglomération romaine de Brion, Saint-Germain d'Esteuil (0°50'21.4" W - 45°16'51.0" N)

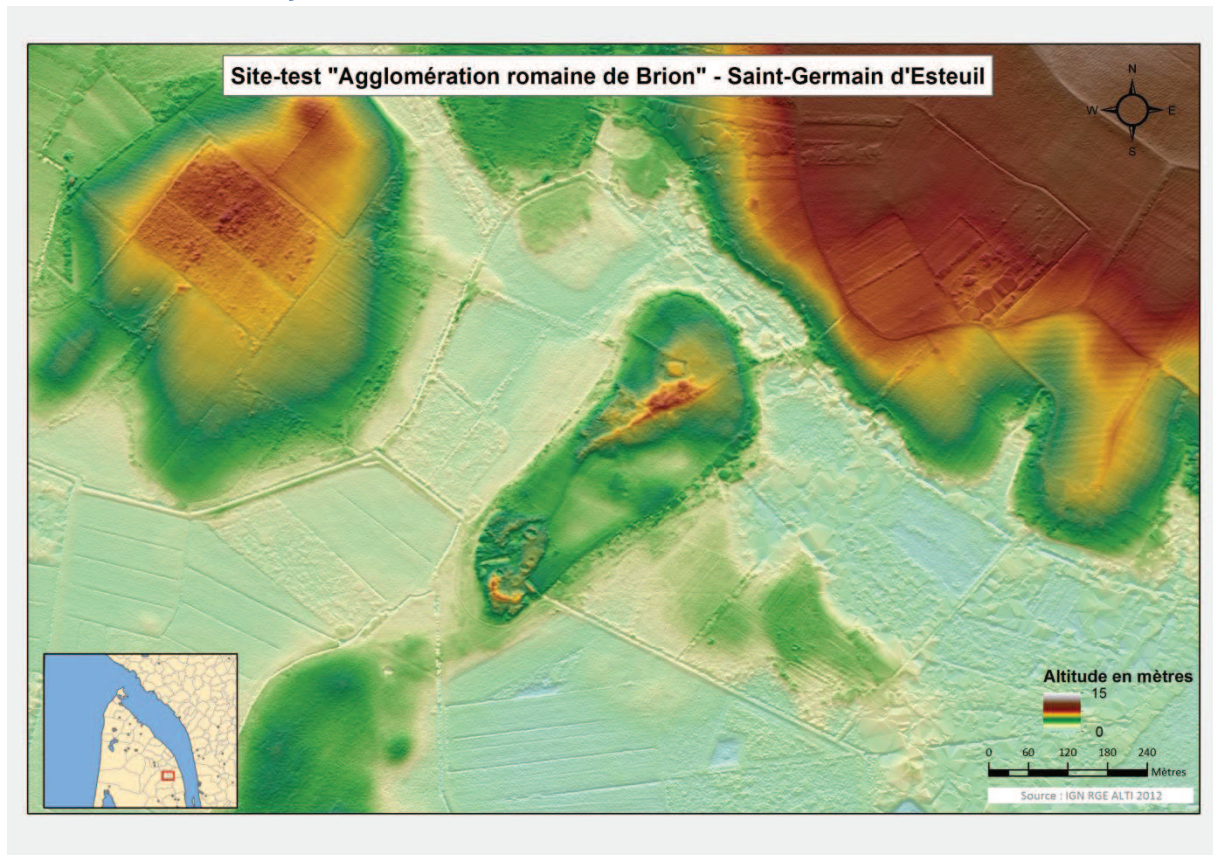


Figure 31 Site-test "agglomération romaine de Brion"

Ce site-test permet de mesurer la capacité des MNT du RGE ALTI et des techniques pour les visualiser à détecter des structures bâties émergentes du sol (murs de pierre) en milieu plutôt ouvert (alternance de prés et de bosquet dense de feuillus). La zone couvre 2 km² avec une densité moyenne de points de 0.85 point/m².

4.2.4 Deux sites de plaine avec moins de végétation : un paléochenal (Queyrac 0°59'06.08" W - 45°22'42.8" N) et une digue (Jau-Dignac-et-Loirac 0°54'11.6" W - 45°24'38.1")

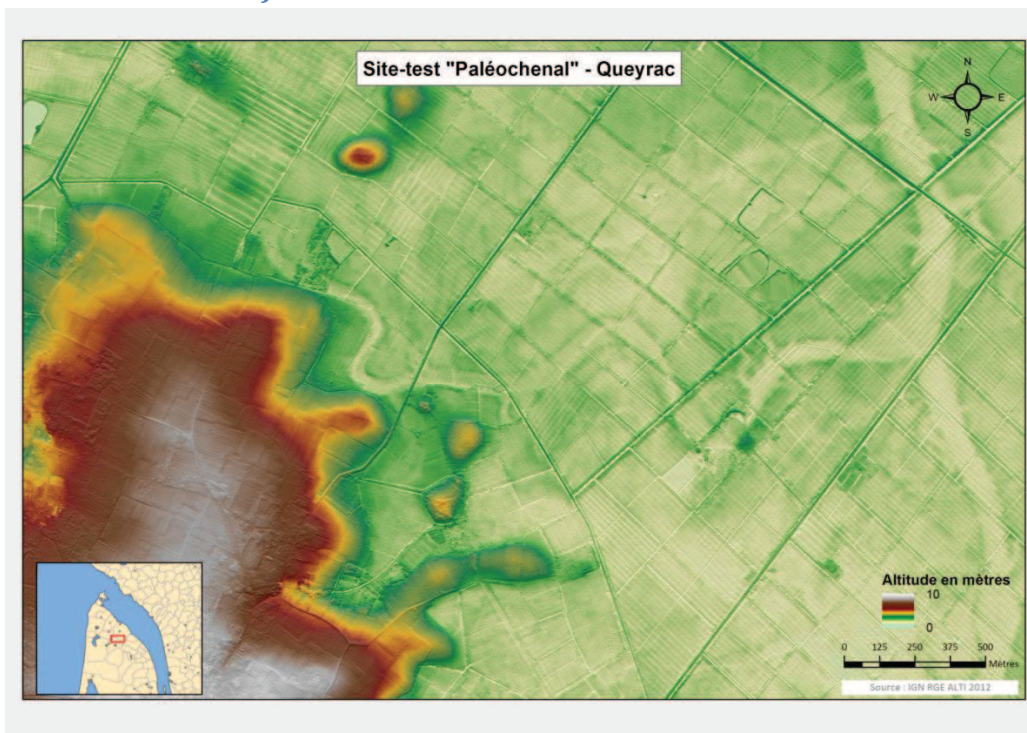


Figure 32 Site-test "paléochenal"



Figure 33 Site-test "digue"



Ces sites-tests permettent de mesurer la capacité des MNT du RGE ALTI et des techniques pour les visualiser à détecter des éléments de plaine où la végétation est plutôt rase, comme dans les prés drainés et cultivés, ou bien complètement absente comme sur une digue. Là encore, dans ces zones pourtant non forestières la densité moyenne de points LiDAR est faible (végétation certes rase mais dense, omniprésence de l'eau) :

- 0.92 points/m² (en moyenne) sur un secteur de 2km² autour du paléochenal
- 0.89 points/m² (en moyenne) sur un secteur d'1 km² autour de la digue

4.3 Synthèse des résultats des tests de visualisation

a- Il n'y a pas de technique de visualisation idéale. Chaque technique a des avantages que l'on ne retrouve pas forcément dans les autres. Sans surprise, c'est la consultation successive de plusieurs images produites par des techniques différentes qui permet de repérer des éléments de terrain. Mais c'est aussi un handicap majeur tant il peut être coûteux et fastidieux de produire puis analyser des dizaines d'images.

b- C'est pourquoi, en tenant compte des besoins exprimés par les chercheurs du programme LITAQ, la technique Solar Radiation se démarque légèrement des autres par sa capacité à produire des images cumulant 2 avantages majeurs :

- La conservation d'un très grand nombre d'éléments topographiques
- L'immédiateté de l'analyse visuelle

Solar Radiation ne fait pas reposer la technique de représentation du relief sur une source lumineuse unique, mais sur plusieurs orientations de rayonnement solaire. La conséquence principale est de préserver des éléments topographiques rendus invisibles par d'autres techniques.

Le rendu est facilement consultable puisqu'il s'apparente aux images en niveaux de gris que l'on a l'habitude de consulter. Il n'y a pas besoin d'interpréter le jeu des couleurs de l'image pour "voir" le relief.

L'inconvénient majeur est le temps de production qui est 20 fois plus long que pour un raster d'ombrage.

c- La technique « raster d'ombrage » reste performante à moyenne et grande échelle. Elle est facile et rapide à mettre en œuvre. Les orientations de la source lumineuse, si elles sont comprises entre les azimuts 270° Nord et 90° Nord, produisent des images du relief immédiatement compréhensibles. Toutefois, il n'est pas recommandé de ne faire reposer l'analyse du terrain que sur cette seule technique, surtout à grande échelle : trop de détails topographiques disparaissent selon l'orientation de la source lumineuse.

d- Il est donc préférable d'analyser le terrain à l'aide des images produites par les deux techniques. En outre, la superposition de ces images, auxquelles on applique un facteur de transparence, avec le MNT colorisé permet d'ajouter une information d'altitude rendant la compréhension du relief encore plus facile.



e- La qualité de la colorisation du MNT selon les valeurs d'altitudes dépend fortement de l'étendue de ce dernier. S'il couvre une vaste zone, la plage de valeurs d'altitudes sera grande et l'étirement des valeurs colorimétriques aura tendance à masquer des détails en les incluant dans une même teinte. Il faut alors y remédier :

- a. Soit en construisant un MNT moins étendu
- b. Soit en comprimant la rampe de couleurs dans une fourchette de valeurs d'altitudes plus petites
- c. Soit en construisant sa propre rampe de couleurs

Dans les deux premiers cas, on est donc obligé d'éliminer des informations : en réduisant la zone d'étude (cas a) où en rejetant dans des teintes monochromes les valeurs d'altitudes non comprise dans la rampe de couleurs « comprimée » (cas b). Compte tenu du fait que la troisième solution (cas c) est une tâche extrêmement ardue lorsque l'amplitude des valeurs d'altitude est grande, la colorisation des MNT du RGE ALTI à l'aide des deux premières solutions n'est donc envisageable, pour un résultat optimal, que sur des zones d'études restreintes.

f- Les images « raster d'ombrage » et « rayonnement solaire global » peuvent aussi être superposées aux images produites à l'aide de la technique « TPI ». Cette dernière permet de remarquablement caractériser le relief en mettant en exergue les « creux » et les « bosses », et ce, à différentes échelles, choisies par l'utilisateur en fonction de ce qu'il recherche. Les temps de génération extrêmement longs restreignent cependant l'emploi de cette technique à des zones d'étude très peu étendues.

(Voir ANNEXE 4 "Tableau des temps de production des images pour la zone-test de Queyrac")

4.4 Est-il nécessaire de produire de nouveaux MNT ?

Tous les tests décrits précédemment ont été effectués en utilisant les MNT construits par l'IGN et livrés avec le RGE ALTI. Les informations sur le processus de construction de ces MNT et notamment sur les techniques d'interpolations utilisées ne sont pas précisément divulguées par l'IGN. Nous avons vu toutefois que ces MNT pouvaient servir de base solide pour produire des images représentant la surface du sol nu par l'emploi de techniques de visualisation appropriées. Le RGE ALTI étant par ailleurs livré avec les fichiers stockant les nuages de points classés « sol » par l'IGN, nous avons décidé de recenser et tester les méthodes disponibles dans ArcGIS 10.2 permettant de construire nos propres MNT à partir des nuages de points.

Pour un descriptif des outils et des différents choix qu'ils offrent, se reporter au document suivant :

Voir ANNEXE 5 « ArcGIS 10.2 production de MNT à partir de fichiers *.LAS »

Pour une synthèse sur les méthodes d'interpolation, voir aussi le document :

Voir ANNEXE 6 "Production de MNT à partir de fichiers .LAS - Interpolation - Méthodes d'interpolation»



En tenant compte des outils décrits dans les annexes précitées, construire un MNT à partir des fichiers de nuage de points classé « sol » revient à jouer sur deux grands axes :

- les techniques d'interpolation
- la résolution spatiale

4.4.1 Modifier les méthodes d'interpolation

Nous ne rentrerons pas ici dans les détails des différentes méthodes. Nous nous contenterons de synthétiser les résultats.

Selon nous, pour les besoins qui ont été ciblés (exploitation avant tout visuelle des MNT) **et pour les secteurs qui nous concernent**, il n'est pas franchement justifié de reconstruire des MNT avec d'autres méthodes d'interpolation, surtout en regard des temps de traitement et de la masse de nouveaux fichiers que cela engendre.

Les tests menés révèlent que les MNT produits avec ArcGIS n'apportent pas d'améliorations significatives pour une analyse purement visuelle des MNT, lorsque ces derniers font l'objet d'un traitement de type raster d'ombrage ou radiation solaire par ex.

Par contre, il existe bel et bien des différences de valeurs d'altitude entre le MNT du RGEALTI et ceux que l'on peut produire dans ArcGIS avec différentes méthodes. Des différences pouvant aller jusqu'à 80 cm. Dans le cas de travaux exigeant des analyses numériques très poussées (hydrologie, pentes etc.), il conviendrait d'entreprendre de longs tests afin de voir si le modèle proposé par l'IGN répond à certaines problématiques bien particulières. Pour les besoins qui ont été exprimés pour cette phase de LITAQ, il n'a pas été jugé pertinent d'entreprendre de tels "test qualité" du MNT du RGE ALTI.

Toutefois, la production de MNT à partir des fichiers .las nous semble indispensable pour des travaux futurs impliquant les dossiers des zones fluviales. En effet, ces secteurs n'ont pas de MNT construits exclusivement avec des données LiDAR, mais avec un mélange de données (LiDAR + BD ALTI). Cette caractéristique provoque de lourds désagréments lorsqu'on traite les données, de sorte qu'il semble indispensable de créer des MNT « vidés » des données « BD ALTI ».

Cela implique une autre phase d'études et de tests pour trouver les bonnes techniques, capables de produire en masse des MNT de qualité.

Il a en outre été noté que des images de rayonnement solaire ou même raster d'ombrage calculées à partir des MNT construits dans ArcGIS comportaient un certain nombre d'artifices visuels néfastes, par rapport aux mêmes types d'images calculées à partir du MNT RGEALTI.

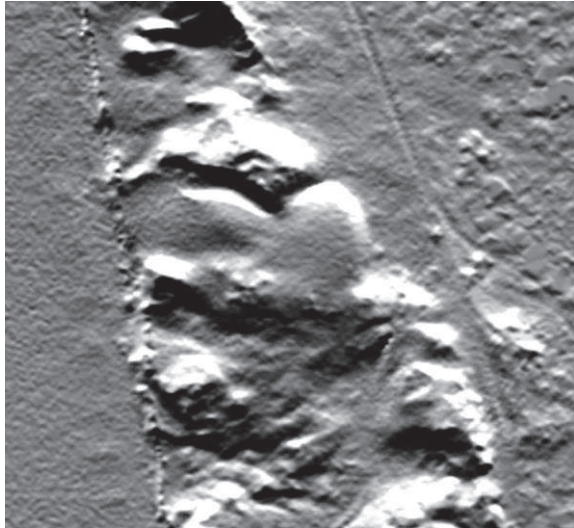


Figure 34 En haut : image "rayonnement solaire global" produite à partir d'un MNT du RGE ALTI. En bas : image "rayonnement solaire global" produite à partir d'un MNT construit dans ArcGIS à l'aide du nauage de points "sol" du RGE ALTI : des artefacts visuels sont apparus

4.4.2 Modifier la résolution spatiale

Chercher à adopter une résolution spatiale plus élevée revient à diminuer la taille des cellules du MNT et donc, en mode image raster, à diminuer la taille des pixels et à augmenter leur nombre.

Dans notre cas, compte tenu de la densité initiale de points LiDAR classés "sol" qui est en moyenne d'1 point / m², il ne paraît pas pertinent d'augmenter la résolution spatiale du MNT. Cela reviendrait à augmenter le nombre de cellules du MNT dont les valeurs devront être interpolées. Le coût d'une telle manipulation paraît trop élevé par rapport aux bénéfices que l'on peut espérer en tirer : les temps de traitement sont longs, les nouveaux MNT et images d'analyses créées sont plus volumineux et l'analyse visuelle n'est pas significativement améliorée. Un MNT 0.5m ne révèle pas des détails déjà absents du MNT 1m.

En outre, du fait du très grand nombre de valeurs interpolées, des artefacts sont créés. Sans compter les temps de traitements qui sont démesurément longs (le nombre de pixel d'une image est doublé par rapport au traitement sur un MNT d'1m de résolution spatiale)

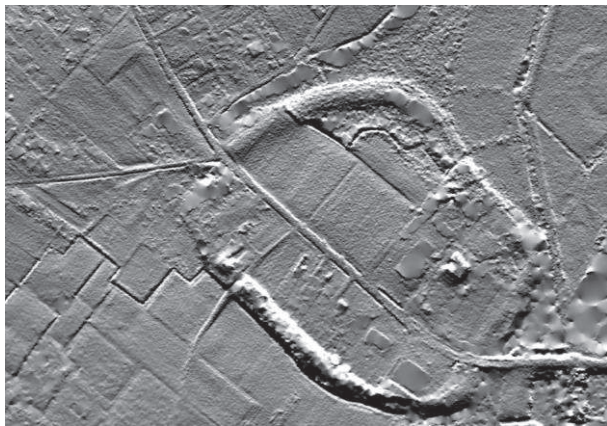
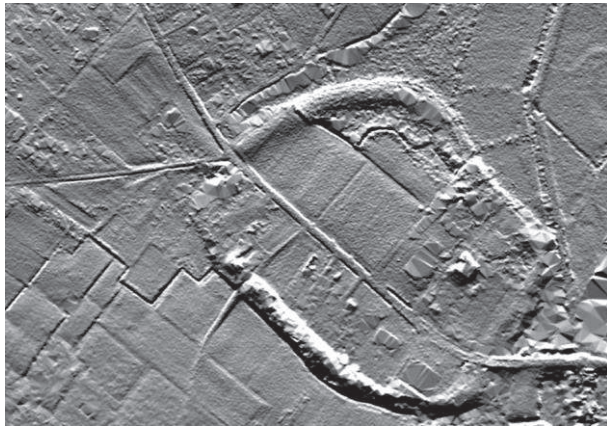


Figure 35 En haut : image "rayonnement solaire global" produite à partir d'un MNT d'un mètre de résolution spatiale. En bas : image "rayonnement solaire global" produite à partir d'un MNT de 50cm de résolution spatiale : pas d'amélioration visuelle significative

5 PRODUCTION DES DONNEES

Nous ne mentionnons que la production des images « rayonnement solaire global ». L'enchaînement des tâches est représenté par le Model Builder disponible dans l'**ANNEXE 7 "Model Builder de production des images "rayonnement solaire global"**.

Les images produites sont au format .TIF, de taille 1000 x 1000 pixels codés sur 32 bit, d'environ 4 Mo chacune.

Pour visualiser autant d'images à la fois dans ArcGIS 10.2, le recours au "Mosaic Dataset" est nécessaire (voir l'**ANNEXE 8 « Arcgis - Créer une mosaïque virtuelle de rasters (Mosaic Dataset)**").



6 PARTAGER LES DONNEES

Après validation des méthodes de visualisation les plus appropriées puis la production des images représentant le relief, nous avons testé diverses méthodes afin d'envisager la diffusion de ces images via le web

6.1 Objectifs à atteindre et méthodologie générale

L'objectif principal à atteindre est de permettre la consultation du référentiel topographique depuis un navigateur web et plus précisément à partir de la page wiki⁹ du programme LITAQ, afin de permettre sa consultation par la communauté de chercheurs impliqués dans le programme. Les premiers tests ont donc visé à trouver une solution, côté serveur, pour publier le référentiel sous la forme d'un service WMS¹⁰. Côté client, l'application cartographique doit au moins permettre de consulter le référentiel topographique (ainsi que des fonds de plans « classiques » tels qu'orthophotographies) et à terme, offrir en plus la possibilité à l'utilisateur de créer ses propres données (création d'objets graphiques et de données attributaires dans un espace de travail privé) ainsi que celle de modifier des données selon son niveau d'habilitation.

Au moment de la rédaction du présent rapport (Novembre 2014), l'utilisation d'ArcGIS Server sur un serveur d'Ausonius n'est pour le moment pas la solution privilégiée¹¹ et l'accès aux outils cartographiques disponibles sur le serveur de la TGIR Huma-Num est encore à l'étude¹². Par conséquent, des solutions alternatives ont été testées. Les deux principales étant :

- MapServer (serveur cartographique) / OpenLayers (application web cartographique)
- QGIS Server (serveur cartographique) / LizMap (application web cartographique, basée sur OpenLayers)

QGIS est distribué sous licence GPL (General Public Licence), son obtention et son utilisation sont libres et gratuites. MapServer est distribué sous licence X11, son obtention et son utilisation sont elles aussi libres et gratuites.

Pour l'utilisation du couple QGIS Server / LizMap voir **ANNEXE 9 "QGIS_SERVER_cree_des_services_WMS"**

⁹ Un wiki est une application web permettant, depuis un navigateur web, de créer et de modifier les pages d'un site web sur un mode collaboratif. Le wiki de LITAQ peut ainsi être enrichi par les personnes impliquées dans le programme

¹⁰ Web Map Service. Protocole standardisé de communication serveur/client pour l'échange de données géographiques géoréférencées, au format raster.

¹¹ ArcGIS Server n'est supporté que par des serveurs Windows ou Linux. Les serveurs d'Ausonius sont des serveurs Mac OS X.

¹² TGIR : « Très Grande Infrastructure de Recherche ». Consortium européen de divers acteurs de la recherche mutualisant un certain nombre d'outils et leur maintenance. Pour les web-SIG, la solution « Infrastructure MapServer » d'Autodesk ne sera plus supportée après 2015. Subsisteront alors les solutions Dynmap + Aigle de Business Geographic, ArcGIS Online d'ESRI et GeoServer (logiciel libre).



6.2 Résultats (provisaires) des tests et problèmes rencontrés

a- Difficulté liée au nombre de fichiers à publier

La principale difficulté rencontrée vient de la multitude d'images « rayonnement solaire global » produites. Sur les deux zones d'études prioritaires couvertes (Nord-Médoc et Bassin d'Arcachon), cela représente plus de 1200 images au format .tif.

La solution « idéale » passe par la création de rasters virtuels dans QGIS puis leur publication WMS par QGIS Server. A la date de rédaction du présent rapport (Novembre 2014), ce procédé ne fonctionne pas de manière satisfaisante et aucune solution n'a encore été trouvée pour résoudre le problème rencontré (dans le WMS, les portions de l'image ne comportant aucune donnée ne s'affichent pas en transparent, mais en blanc opaque. La superposition des couches devient alors problématique puisque l'on ne voit pas les couches situées sous les parties opaques).

La solution fonctionnelle, pour le moment, est de chercher à ne publier qu'une seule image et non 1200. Ceci implique de créer ladite image unique (en fait deux images, correspondant aux deux zones d'études prioritaires du programme LITAQ).

La difficulté soulevée alors est de conserver la plus haute résolution spatiale possible (la résolution spatiale des images originale étant de 1 mètre), compte tenu du niveau d'exigence des archéologues en la matière (qui doivent pouvoir détecter de petits indices topographiques).

La solution trouvée est d'utiliser la fonction « Export Map » d'ArcMap. A partir de l'affichage du Mosaic Dataset des images « rayonnement solaire global » de la zone Nord-Médoc (ou Bassin d'Arcachon), la fonction crée une nouvelle image, sorte de « super capture d'écran » conservant le géoréférencement.

La nouvelle image a été créée au format .png afin de pouvoir lui appliquer un taux de transparence dans l'application web cartographique.

Il est en outre impératif de limiter au maximum la taille de l'image. En effet, l'image produite par la fonction « Export Map » possède un inconvénient : les zones NoData judicieusement affichées automatiquement en transparent par ArcGIS perdent cette capacité dans la nouvelle image (elles seront automatiquement affichées en blanc opaque par n'importe quel logiciel, y compris ArcGIS). Par conséquent, il est nécessaire de supprimer ces zones opaques pour que de nouveau, elles puissent apparaître transparentes en permanence et ce dans n'importe quel logiciel. Nous utilisons pour ce faire Adobe Photoshop. Or, Photoshop ne peut pas manipuler des images .png dont les dimensions excèdent 30 000 x 30 000 pixels. C'est pourquoi l'image produite par « Export Map » doit être inférieure à cette taille.

Le meilleur compromis trouvé afin de produire une image qui sera à la fois acceptée par Photoshop et qui conservera une résolution spatiale maximale est le suivant :

Pour la zone Nord-Médoc :

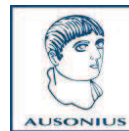
Affichage du Mosaic Dataset (dans ArcMap) de la zone à l'échelle 1/178 000

Export Map avec un dpi¹³ de l'image fixé à 3300

L'image produite est de taille 25 094 x 29906 pixels

La résolution spatiale est donc de 137 cm environ¹⁴

¹³ dpi : "dot per inch". Désigne le nombre de pixels alignés sur 1 pouce (2.54 cm)



Pour la zone Bassin d'Arcachon :

Affichage du Mosaic Dataset de la zone à l'échelle 1/180 000
Export Map avec un dpi de l'image fixé à 3300
L'image produite est de taille 25 094 x 29906 pixels
La résolution spatiale est donc de 138 cm environ

Pour la manipulation de cette image : voir **ANNEXE 10 "PHOTOSHOP Mise en transparence de portions d'une image"**

b- Le Système de référence spatial de l'image produite dans Photoshop

La nouvelle image créée grâce à Photoshop ne possède plus de géoréférencement. Toutefois, les dimensions de l'image sont les mêmes que celles de l'image originelle qui possède, elle, un fichier de géoréférencement (.pgw dans notre cas). Nous avons donc dupliqué ce fichier et l'avons renommé (il doit porter exactement le même nom que le fichier qu'il géoréférence).

Nous attirons l'attention sur le fait que les références spatiales produites par la fonction « Export Map » d'ArcGIS peuvent ne pas être parfaitement compatibles avec QGIS et QGIS Server. Nous l'avons constaté avec le système « EPSG:2154 » : l'image .png produite par la fonction « Export Map » d'ArcGIS avec ce système spatial de référence n'est pas reconnue par QGIS comme étant une image portant le système « EPSG:2154 ». A l'affichage dans QGIS, il n'y aura pas de conséquence néfaste, mais pour toute autre manipulation, dont la publication WMS par QGIS Server, cette absence de correspondance parfaite entre les systèmes spatiaux de référence posera problème. Par conséquent, il est impératif d'indiquer à QGIS que le système de coordonnées de l'image produite par la fonction « Export Map » d'ArcGIS est bien « EPSG:2154 » (fonctions « Specify » ou « Assign Projection » dans QGIS).

c- QGIS Server et LizMap

Le couple QGIS Server / LizMap est une solution relativement facile et rapide à mettre en œuvre pour créer un service WMS (rôle de QGIS Server) et l'afficher au sein d'une application cartographique prête à l'emploi disposant d'un certain nombre d'outils et de fonctions d'administration immédiatement utilisables (rôle de LizMap). A la date de rédaction du présent rapport (Novembre 2014), la seule difficulté à surmonter est la gestion des caches serveur et navigateur, qui ne semblent pas opérationnels, occasionnant une lenteur d'affichage préjudiciable à l'utilisation de l'application.

d- MapServer

MapServer offre des fonctionnalités très étendues qui donnent l'impression de pouvoir tout faire dans les moindres détails. La complexité est cependant un peu plus forte qu'avec QGIS Server et nécessite des temps de développement plus longs.

¹⁴ Un dpi de 3300 crée des pixels de 0.00077 cm (2.54/3300). A une échelle de 1/178000, un pixel de cette taille représente un carré de 137 cm de côté dans la réalité (0.00077*178000)



7 CONCLUSION GENERALE

Les tests effectués montrent que RGE ALTI est une donnée précieuse, capable de constituer un référentiel topographique incontournable dans l'étude d'une zone littorale comme celle couverte par le programme LITAQ. La technique LiDAR employée pour la construction d'un tel produit, grâce à la densité et la précision des données qu'elle fournit, autorise la production d'images capables de représenter le relief à haute résolution.

Il faut néanmoins garder à l'esprit que le RGE ALTI a été conçu comme un produit modélisant uniquement la surface du sol nu, destiné à servir les politiques de gestion des risques de submersion/inondation.

Par conséquent, les algorithmes de classification et de tri employés par L'IGN ont cherché au maximum à éliminer tout élément du « sursol » comme la végétation haute et basse, mais aussi tout élément présentant un caractère « artificiel », c'est-à-dire construit par l'homme de manière évidente, comme les bâtiments, les ponts, les routes (même si les remblais de ces dernières sont bien visibles la plupart du temps).

Le RGE ALTI est donc d'abord précieux pour sa capacité à révéler ce qu'il y a « sous la forêt » et plus généralement pour exposer, à grande comme à petite échelle, la structure topographique de la zone couverte par le produit : vallées, paléochenaux, dunes, dépressions, crêtes etc.

A grande échelle, des éléments pouvant passer pour des excroissances naturelles du relief ont été conservés. Sur le plan archéologique, des objets tels que des tumulus seront ainsi bien détectés. Par contre, des structures archéologiques comportant des éléments bâtis caractérisés (murets par exemple) ne seront pas conservés et donc quasi invisibles sur les images produites.

Pour exploiter visuellement le RGE ALTI, il nous semble que la technique « rayonnement solaire global » d'ArcGIS 10.2 est la meilleure, surtout à grande échelle. C'est elle qui révèle le maximum de détails. Son mode de production est toutefois long et les images produites numériquement assez lourdes (pixels codés en 32 bit). Malgré cela, elle nous semble un atout supplémentaire dans l'étude de la topographie d'une zone, qui ne saurait reposer que sur les images « classiques » d'ombrages du terrain. La superposition du MNT colorisé selon les valeurs d'altitude et des images de rayonnement solaire global permet en outre d'augmenter la qualité de l'image analysée.

Pour résumer, on peut dire que, pour la détection d'indices topographiques à petite et grande échelle, le RGE ALTI est :

- Assez efficace en zone forestière exploitée. Dans ces zones, malgré la faible densité d'impacts LiDAR classés « sol » (moins d'un point LiDAR / m²), des éléments, généralement de formes plutôt « molles » ou rectilignes, sont visibles. La densité et la précision des données LiDAR permettant de modéliser des objets d'au moins 10m de large et 60cm de hauteur.
- Assez efficace en zone dunaire où les densités d'impact LiDAR classés « sol » sont les plus fortes (mais ne dépassant que rarement les 2 points LiDAR / m²). Les images semblent surtout montrer l'énorme comblement sableux mais révèlent bien l'organisation des cordons dunaires



- Assez efficace dans les plaines drainées en bordures d'estuaires où les réseaux de chenaux et paléochenaux sont visibles. Là encore, la densité et la précision des informations LiDAR permettent de détecter des méandres assez subtilement dissimulés (dépression de 50cm dans le sol pour 5m de large) dans la plaine, quasiment invisibles sur les photographies aériennes par exemple.
- Peu efficace en zone humide et marécageuse
- Peu efficace là où le couvert végétal est très dense, comme certaines forêts non exploitées des zones humides et marécageuse où certains bosquets non entretenus (cf. le Mur de Gaillan)

La consultation dans un logiciel SIG des centaines d'images de « rayonnement solaire global » produites ne pose pas de problème particulier. Les difficultés surviennent lorsque l'on souhaite publier ces images via le web et hors de l'environnement logiciel dans lequel elles ont été produites (ArcGIS). L'idéal est de publier en service WMS une image unique, ce qui, dans notre cas, a nécessité des traitements supplémentaires (dans Photoshop notamment).

Les serveurs cartographiques MapServer et QGIS Server ont été testés et s'avèrent pratiques pour la mise en place rapide d'un service WMS, même si à la date de rédaction du présent rapport (Novembre 2014), les paramètres des caches serveur et navigateur doivent être optimisés (QGIS Server/LizMap) et l'interface utilisateur améliorée (MapServer/OpenLayers).



REFERENCES DOCUMENTAIRES

MNT – Interpolation – Techniques d’interpolation

Un ouvrage de référence sur la production de MNT et leur utilisation dans les SIG :

- HENGL Tomislav, REUTER Hannes, *Geomorphometry. Concepts, Softwares, Applications*, Elsevier, 2009

Articles :

- AZPURUA M., DOS RAMOS K., « *A comparison of spatial interpolation methods for estimation of average electromagnetic field magnitude* », *Progress In Electromagnetics Research M*, Vol. 14, 135-145, 2010
- BOSSER Pierre, « *Interpolation spatiale* », Cours de l’Ecole Nationale des Sciences Géographiques, Département Positionnement Terrestre et Spatial, année scolaire 2011-2012
- CEBECAUER Tomas, HOFIERKA Jaroslav, SURI Marcel, « *Processing digital terrain models by regularized spline with tension: tuning interpolation parameters for different input datasets* », *Proceedings of the Open source GIS - GRASS users conference 2002 - Trento, Italy, 11-13 September 2002*
- LIU Xiaoye, « *Airborne LiDAR for DEM generatio: some critical issues* », *Progress in Physical Geography* 32(1) (2008) pp. 31–49
- LLOYD C.D., ATKINSON P. M., « *Deriving DSMs from LiDAR data with kriging* », *International Journal of Remote Sensing*, 2002, vol. 23, no. 12, 2519–2524
- LLOYD C.D., ATKINSON P. M., « *Non-stationary Approaches for Mapping Terrain and Assessing Prediction Uncertainty* », *Transactions in GIS*, 2002, 6(1): 17-30
- MITAS L., MITASOVA H., "Spatial interpolation." In *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*, P. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire and D. W. Rhind, 481-492. Vol. 1. Wiley, 1999
- ROUSSEAUX Frédéric, « *Caractérisation d’erreurs sur un modèle numérique de terrain en fonction de zones morphologiques* », *Bulletin d’information scientifique et technique de l’IGN n° 75 (2006/1)*

Visualisation de MNT

- DEVEREUX B. J., AMABLE G. S., CROW P., « *Visualisation of LiDAR terrain models for archaeological feature detection* », *ANTIQUITY S2* (2008): 470-479
- HELLER J.K., SMITH M., « *Residual relief separation: digital elevation model enhancement for geomorphological mapping* », *Earth Surface Processes and Landforms* 33, 2266–2276 (2008)
- HESSE Ralf, « *LiDAR-derived Local Relief Models: a new tool for archaeological prospection* », *Archaeological Prospection* 17, 67–72 (2010)
- ZAKSEK Klemen, OSTIR Kristof, KOKALJ Žiga, « *Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique* », *Remote Sensing* 2011, 3, 398-415

Technique LiDAR

Ouvrages de référence :

- SHAN Jie, TOTH Charles K., *Topographic laser ranging and scanning. Principles and processing*, CRC Press, 2009
- VOSSSELMAN Georges, MAAS Hans-Gerd, *Airborne and terrestrial laser scanning*, Whittles Publishing, 2010

Courtes synthèses sur la technique lidar

- « *3D Laser scanning for heritage. Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture* », English Heritage, 2011



- « *An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications* », National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Coastal Services Center, Coastal Geospatial Services, Division Coastal Remote Sensing Program, 2012
- GATZIOLIS Demetrios, ANDERSEN Hans-Erik, « *A Guide to LIDAR Data Acquisition and Processing for the Forests of the Pacific Northwest* », United States Department of Agriculture, 2008

Classification

- AXELSSON Peter, « *Processing of laser scanner data—algorithms and applications* », ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54 _1999. 138–147
- LOHMANN Peter, KOCH Andreas, SCHAEFFER Michael, « *Approaches to the filtering of laser scanner data* », International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B3. Amsterdam 2000
- MENG Xuelian, CURRIT Nate, ZHAO Kaiguang, « *Ground Filtering Algorithms for Airborne LiDAR Data: A Review of Critical Issues* », Remote Sensing 2010, 2, 833-860
- OPITZ R., NUNINGER L., « *Point cloud metrics for separating standing archaeological remains and low vegetation in ALS data* » International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W2, 2013

Sur la donnée d'intensité en archéologie

- CHALLIS Keith, CAREY Chris, KINCEY Mark, HOWARD Andy J., « *Airborne Lidar Intensity and Geoarchaeological Prospection in River Valley Floors* », Archaeological Prospection 18, 1–13 (2011)

LiDAR et forêt

- CROW P., BENHAM S., DEVEREUX B.J., AMABLE G.S., « *Woodland vegetation and its implications for archaeological survey using LiDAR* », Forestry, Vol. 80, No. 3, 2007
- DEVEREUX B.J., AMABLE G.S., CROW P., CLIFF A.D., « *The potential of airborne lidar for detection of archaeological features under woodland canopies* », ANTIQUITY 79 (2005): 648-660
- DONEUS M., BRIESE C., « *Digital terrain modelling for archaeological interpretation within forested areas using full-waveform laserscanning* », The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST (2006)

LiDAR et dunes

- RANGO A., CHOPPING M., RITCHIE J., HAVSTAD K., KUSTAS W., SCHMUGGE T., « *Morphological Characteristics of Shrub Coppice Dunes in Desert Grasslands of Southern New Mexico derived from Scanning LiDAR* », REMOTE SENS. ENVIRON. 74:26–44 (2000)

LiDAR et archéologie

L'ouvrage de référence :

- OPITZ R., COWLEY D., *Interpreting Archaeological Topography: 3D Data, Visualisation and Observation*, Oxbow Books, 2013

Articles :

- CAREY Chris J., BROWN Tony G., CHALLIS Keith C., HOWARD Andy J., COOPER Lynden, « *Predictive Modelling of Multiperiod Geoarchaeological Resources at a River Confluence: a Case Study from the Trent-Soar, UK* », Archaeological Prospection 13, 241–250 (2006)
- CHALLIS Keith C., « *Airborne Laser Altimetry in Alluviated Landscapes* », Archaeological Prospection 13, 103–127 (2006)
- CHALLIS Keith C., FORLIN Paolo, KINCEY Mark, « *A Generic Toolkit for the Visualization of Archaeological Features on Airborne LiDAR Elevation Data* », Archaeological Prospection
- Archaeol. Prospect. 18, 279–289 (2011)



- CHASE Arlen F., CHASE Diane Z., WEISHAMPEL John F., DRAKE Jason B., SHRESTHA Ramesh L., SLATTON Clint K., AWEF Jaime J., CARTER William E., « *Airborne LiDAR, archaeology, and the ancient Maya landscape at Caracol, Belize* », *Journal of Archaeological Science* 38 (2011)
- CRUTCHLEY Simon, « *Light Detection and Ranging (lidar) in the Witham Valley, Lincolnshire : an Assessment of New Remote Sensing Techniques* », *Archaeological Prospection*, 251–257 (2006)
- DONEUS Michael, BRIESE Christian, FERA Martin, FORNWAGNER Ulrike, GRIEBL Monika, JANNER Martin, ZINGERLE Maria-Christina, « *Documentation and analysis of archaeological sites using aerial reconnaissance and airborne laser scanning* », *XXI International CIPA Symposium, 01-06 October 2007, Athens, Greece*
- HOWARD A., BROWN A., CAREY C., CHALLIS K., COOPER L.KINCEY M., TOMS P., « *Archaeological resource modelling in temperate river valleys : a case study from the Trent Valley, UK* », *ANTIQUITY* 82 (2008): 1040-1054
- HUMME Astrid, LINDENBERGH Roderik, SUEUR Chris, « *Revealing celtic fields from lidar data using kriging based filtering* », *ISPRS*, 2006
- LAPLAIGE Clément, « *Comparaison de signaux (géophysique, Lidar) utilisées dans l'étude des dynamiques anthropiques et naturelles, Thèse en vue de l'obtention du grade de docteur en archéologie* », 16 Février 2012, Université de Franche Comté
- NUNINGER L. (dir.), « *LIDOR Acquisition, traitement et analyse d'images LiDAR pour la modélisation des paléo-reliefs de la plaine littorale du Languedoc oriental* », *Rapport d'ATIP jeunes chercheurs*, 2011



TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 Modéliser une surface à partir de valeurs d'altitude stockées dans les cellules d'un MNT	5
Figure 2 LiDAR aéroporté	7
Figure 3 Nuage de points LIDAR sur une zone boisée.....	7
Figure 4 Une pulsation laser peut être composée de plusieurs "retours". Dans l'illustration : 3 retours sont enregistrés (sommet de l'arbre, végétation basse, sol)	8
Figure 5 Arborescence des données transmises par l'IGN.....	9
Figure 6 Zone couverte par les fichiers du dossier "Littoral" du RGE ALTI "Aquitaine"	10
Figure 7 Le RGE ALTI construit à partir de données d'altitudes provenant de différentes sources : LiDAR et BD ALTI (secteur de l'Isle Saint Georges ; visualisation à l'aide de la technique « raster d'ombrage »).....	11
Figure 8 En rouge : emprise d'un MNT du RGE ALTI (1 Km ²). En gris : les zones des MNT où les données d'altitudes sont présentes (représentées ici à l'aide de l'outil "rayonnement solaire global" ARCGIS 10.2).....	12
Figure 9 Représentation 2D d'un nuage de points (colorisées selon leur valeur d'altitude)	13
Figure 10 Représentation 3D d'un nuage de points (colorisés selon leur valeur d'altitude).....	13
Figure 11 En haut : orthophotographie. Au milieu : nuage de points LiDAR 2D. En bas : densité de points LiDAR "sol" par cellule de 100m ²	15
Figure 12 Irrégulière répartition spatiale des points LiDAR et régularité de la grille du MNT.....	16
Figure 13 Raster d'ombrage (azimut 315° angle sur l'horizon 45°).....	20
Figure 14 Raster d'ombrage (azimut 45° angle sur l'horizon 45°).....	20
Figure 15 Image "Composite Bands" ArcGIS 10.2	21
Figure 16 Raster d'ombrage azimut 315° angle au-dessus de l'horizon 45	22
Figure 17 MDOW azimuts 270°-315°-0°-45°, angle au-dessus de l'horizon 30°	22
Figure 18 Les 3 premières composantes d'une analyse PCA de 16 hillshades, combinées au sein d'une image RGB (en haut : impression de relief "inversé", en bas : modification de la symbologie pour supprimer l'inversion du relief)	24
Figure 19 Sky View Factor : calcul de la portion de ciel visible depuis un point	24
Figure 20 SVF avec Rayon (R) = 50m et 8 partitionnements de l'hémisphère	25
Figure 21 Les différents types de rayonnements solaires.....	26
Figure 22 Image "Global Solar Radiation" d'ArcGIS	27
Figure 23 Raster TPI : visualisation de différences d'élévations	28
Figure 24 Raster de pente	29
Figure 25 MNT avec rampe de couleurs s'appliquant sur toute la plage de valeurs d'élévation	30
Figure 26 MNT avec rampe de couleurs s'appliquant sur une partie de la plage de valeurs d'élévation	30
Figure 27 Les méthodes de visualisation et outils testés.....	31
Figure 28 Carte de répartition de 5 sites-test (Nord-Médoc)	32
Figure 29 Site-test "tumulus"	33
Figure 30 Site-test "Mur de Gaillan"	34
Figure 31 Site-test "agglomération romaine de Brion"	35
Figure 32 Site-test "paléochenal".....	36
Figure 33 Site-test "digue"	36



Figure 34 En haut : image "rayonnement solaire global" produite à partir d'un MNT du RGE ALTI. En bas : image "rayonnement solaire global" produite à partir d'un MNT construit dans ArcGIS à l'aide du nuage de points "sol" du RGE ALTI : des artefacts visuels sont apparus 40

Figure 35 En haut : image "rayonnement solaire global" produite à partir d'un MNT d'un mètre de résolution spatiale. En bas : image "rayonnement solaire global" produite à partir d'un MNT de 50cm de résolution spatiale : pas d'amélioration visuelle significative 41



ANNEXES



ANNEXE 1 : FME - Créer un Workbench pour extraire des fichiers du RGEALTI

Logiciels : FME 2012 SP2, ArcGIS 10.2

Plateforme : Windows 7 pro 64 bits

Le dossier RGEALTI pour l'Aquitaine comporte 8 dossiers totalisant 7027 fichiers .asc (MNT). L'étude d'une zone peut nécessiter l'extraction de plusieurs dizaines voire centaines de fichiers qu'il est fastidieux de copier/coller individuellement. Cette fiche présente une méthode permettant d'extraire des fichiers d'un dossier à partir d'une liste de noms de fichiers. La liste est produite à partir des tables attributaires des Shapefile "Tableau d'assemblage" présents dans chaque sous-dossier du dossier RGEALTI. Elle est ensuite utilisée dans un Workbench FME¹ pour trouver et copier/coller, dans un dossier précis, les fichiers portant les mêmes noms que ceux figurant dans la liste.

Méthode retenue

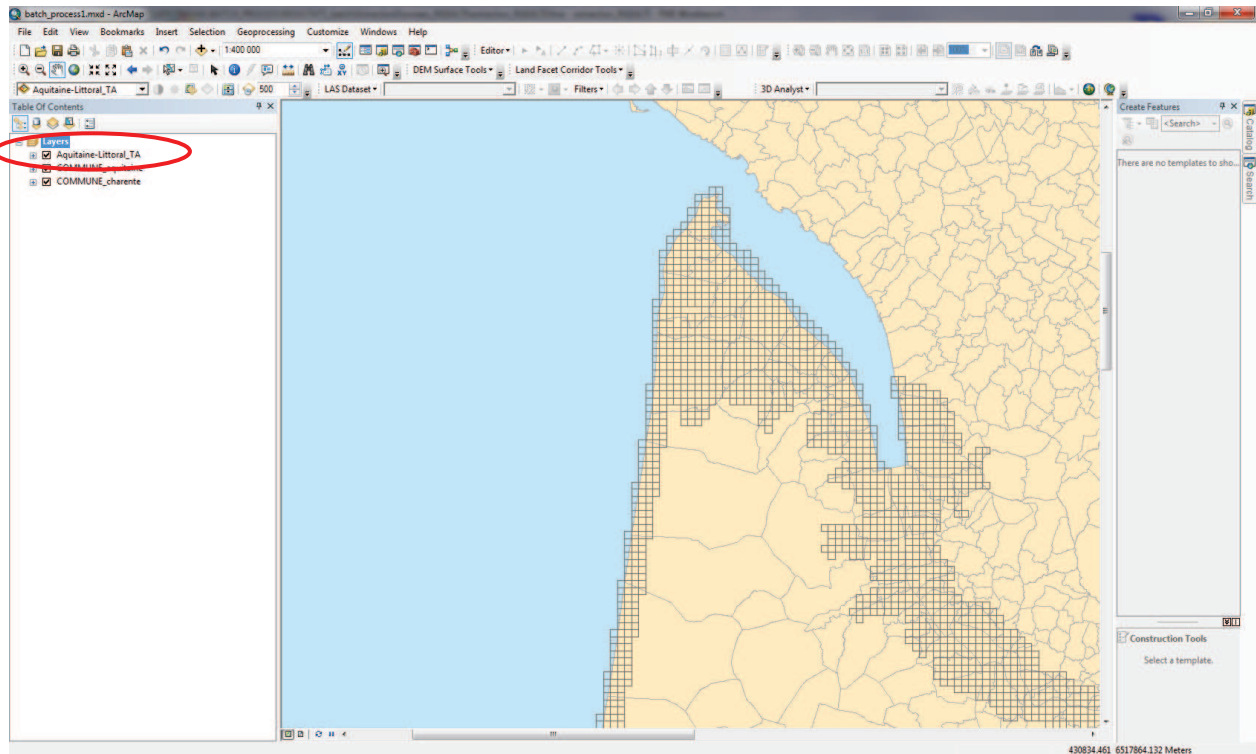
- a- Déterminer spatialement, dans ArcGIS par exemple, les fichiers à extraire grâce au Shapefile représentant l'assemblage des dalles (emprise spatiale des fichiers .asc) fourni avec chaque sous-dossier du RGEALTI;
- b- Exporter la table attributaire de cette sélection spatiale au format DBF devenant ainsi la liste de noms de fichiers à extraire du dossier-source;
- c- Utiliser l'outil Spatial ETL Tool pour extraire du dossier RGEALTI les fichiers dont les noms figurent dans la liste DBF.

¹ Dans le logiciel FME, un Workbench désigne l'application permettant de créer un enchaînement de tâches informatiques

Lister les fichiers du RGE à extraire (ArcGIS)

La méthode la plus fréquemment utilisée pour repérer les fichiers du RGE ALTI correspondant à une zone d'étude précise consiste dans un premier temps à repérer les fichiers concernés via le Shapefile "Tableau-Assemblage" fourni par l'IGN dans chaque sous-dossier du dossier "RGE_Alti".

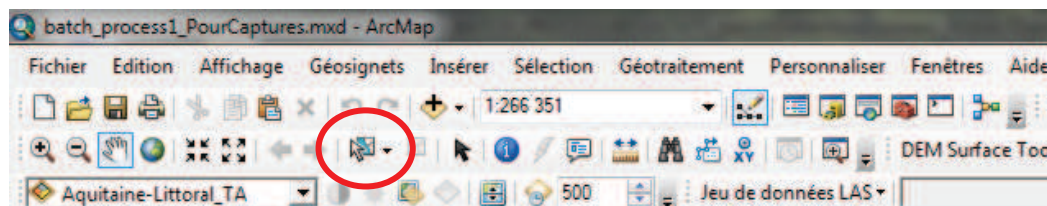
L'exemple suivant porte sur le Shapefile "Aquitaine_Littoral_TA".



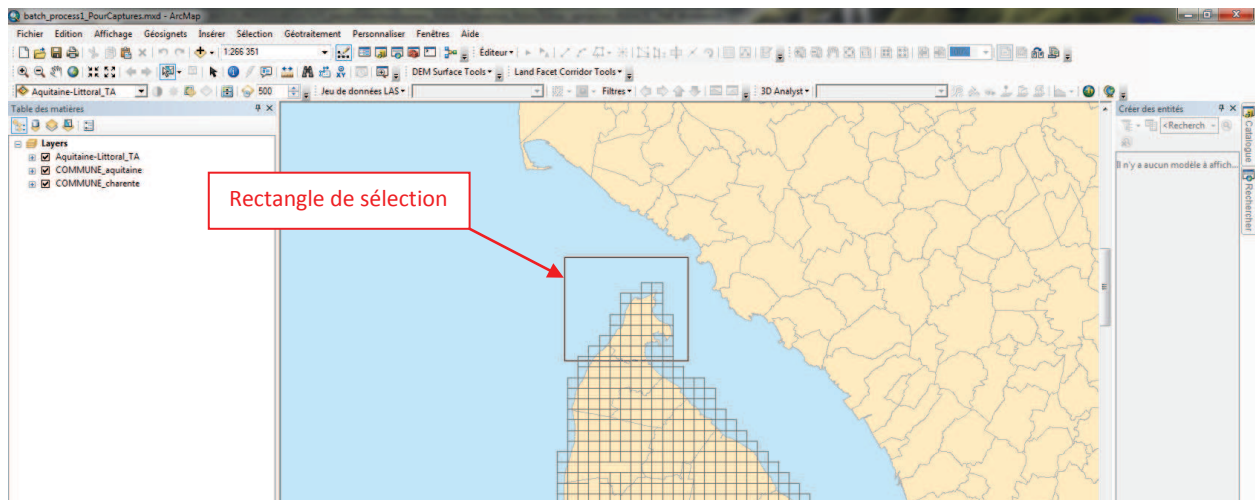
C'est à partir de ce Shapefile que les fichiers correspondant à la zone d'étude que l'on souhaite extraire vont être sélectionnés.

La méthode la plus directe est de procéder à un sélection spatiale "manuelle" :

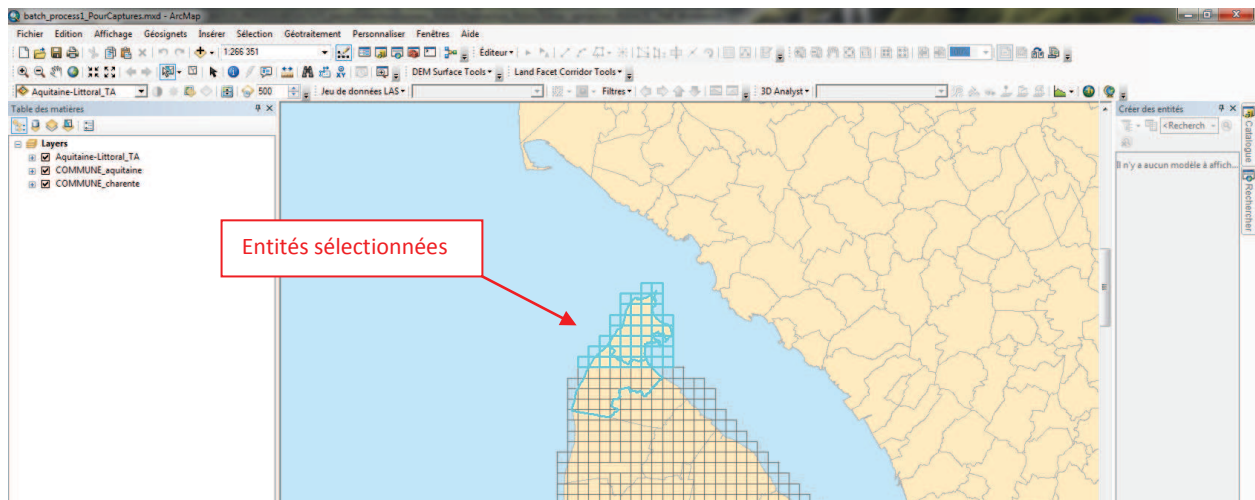
1- Cliquer sur "Sélectionner des entités"



2- Tracer sur la carte la zone à sélectionner

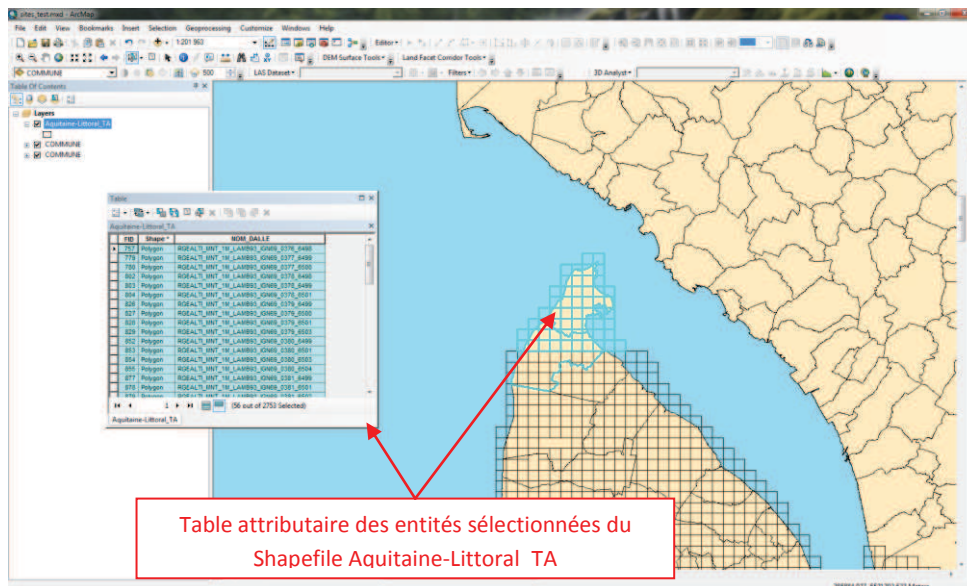


Toutes les entités des couches de la carte se trouvant dans la zone tracée à l'écran sont sélectionnées et mises en surbrillance.



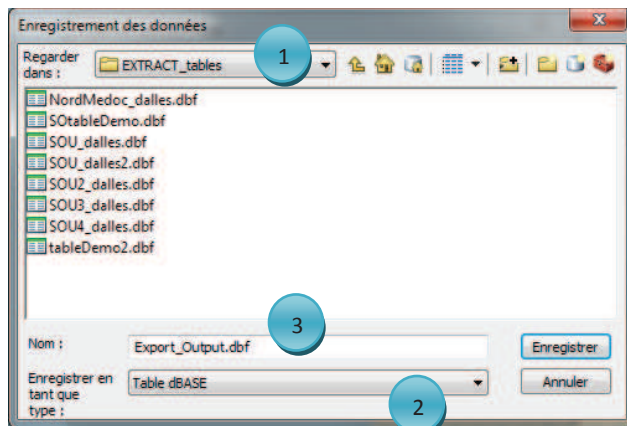
Les entités sélectionnées du Shapefile "Aquitaine_Littoral_TA" nous intéressent puisqu'elles contiennent, dans leurs informations attributaires, les noms des fichiers .asc à extraire.

3 - Clic droit sur le Shapefile Aquitaine-Littoral_TA (dans Table des matières) > **Sélection** > **Ouvrir la table avec les entités sélectionnées**



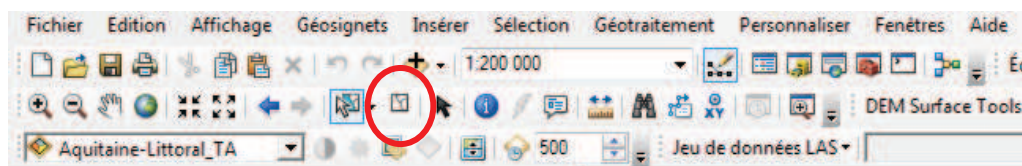
4 - Dans la Tables des entités sélectionnées, cliquer sur *Options de la table* > **Exporter**

- Choisir l'**emplacement** de destination de l'export (1)
- Choisir le format de l'export : Table **dBASE** (.dbf) (2)
- **Nommer** le nouveau fichier .dbf (3)



Un fichier .dbf est ainsi créé, contenant la liste des noms des fichiers .asc d'une zone d'étude particulière. Cette liste peut être utilisée (via Spatial ETL Tool) pour extraire de leur dossier d'origine les fichiers répertoriés.

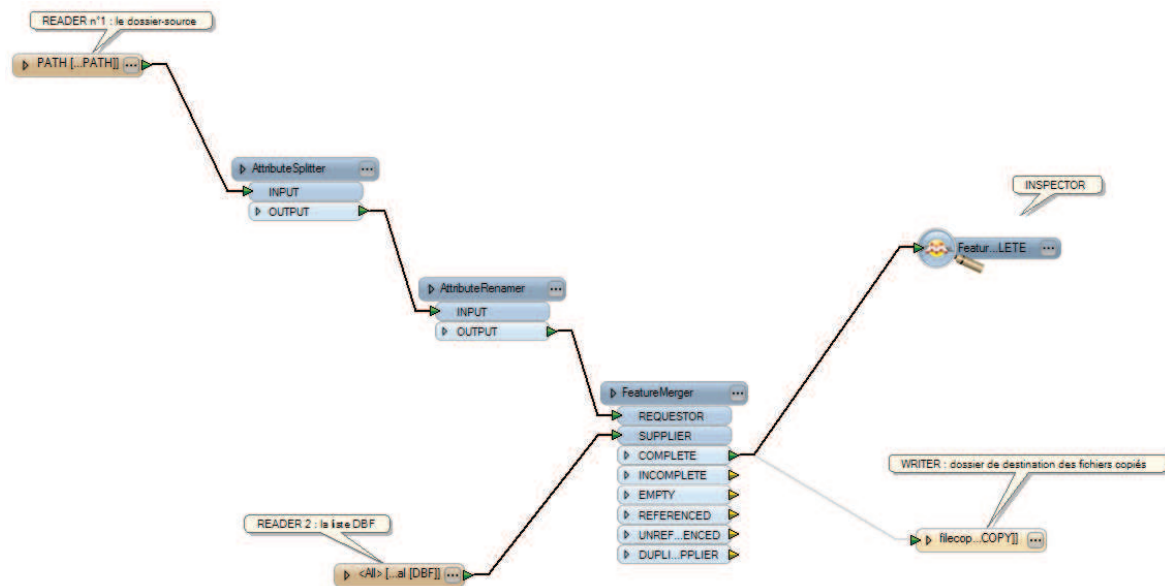
5 - **Désélectionner** les entités sélectionnées :



Créer un Workbench FME pour extraire des fichiers du RGEALTI à partir d'une liste

Le fichier **extraction_RGEALTIv3.fmw** créé par la cellule géomatique contient le Workbench permettant d'accomplir l'extraction des fichiers .asc du dossier RGE_Alti au moyen d'une liste de noms stockés dans un fichier .dbf (voir ci-dessus).

1- Le workflow général est le suivant



Il comporte 6 éléments principaux :

- Un **Reader² n°1** chargé de lire le dossier-source duquel extraire les fichiers désirés
- Un **Reader n°2** chargé de lire la liste de noms de fichiers à extraire (fichier DBF)
- Trois **Transformers³** chargés de mettre en correspondance les noms de fichiers de la liste et les fichiers proprement-dit dans leurs dossiers respectifs : **AttributeSplitter**, **AttributeRenamer**, **FeatureMerger**
- Un **Writer⁴** chargé de copier/coller les fichiers ciblés dans un dossier spécifié par l'utilisateur

Un 6ème élément, nommé **Inspector**, est placé pour vérifier le bon fonctionnement du Workbench avant de lancer véritablement le processus.

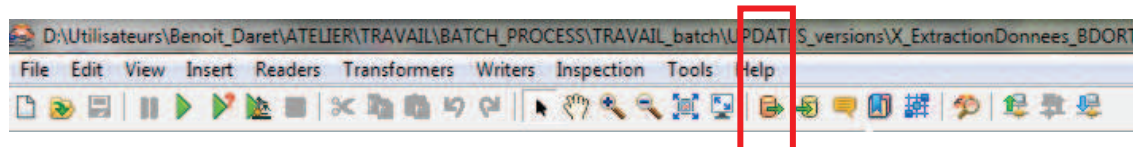
² Dans FME, un Reader est un élément du Workbench permettant de "lire" des données en entrée; de les introduire dans l'enchaînement de tâches créé par le Workbench

³ Dans FME, un Transformer est un élément du Workbench permettant de restructurer une classe d'entité créée spécifiquement par le logiciel

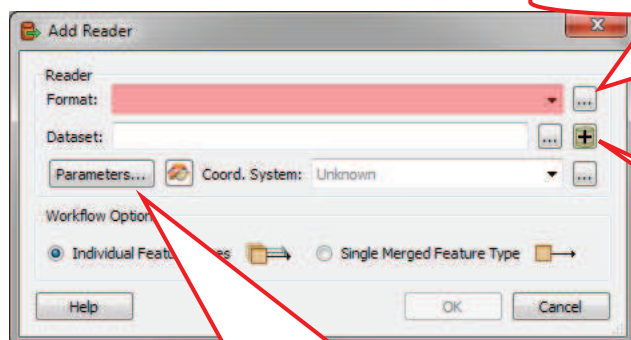
⁴ Dans FME, un Writer est un élément du Workbench permettant "d'écrire" des données en sortie du Workbench

Création du Reader 1 : le dossier-source

1- Dans FME, cliquer sur l'icône **Add Reader**



La fenêtre **Add Reader** s'ouvre



Choisir le format **Directory and File Pathnames**

Open Advanced Browser

Paramètres généraux du Reader

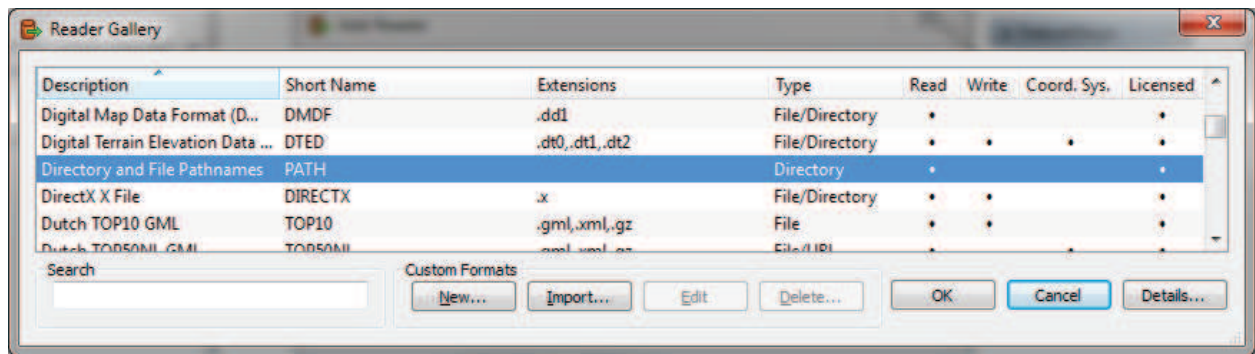
2- Renseigner le **format**

Pour créer le Reader, il est impératif de renseigner son "format". Dans notre cas précis, le terme désigne une batterie de fonctions que le Reader va appliquer aux données qu'il va lire en entrée, plutôt que le type de fichier qu'il va lire.

Pour ce Workbench, le format à utiliser est "**Directory and File Pathnames**", il met en œuvre des fonctions permettant de décomposer la syntaxe des chemins d'accès aux données spécifiées en entrée, puis de stocker ces éléments dans des attributs FME spécialement créés par le logiciel à cette occasion. Trois de ces attributs seront particulièrement utiles par la suite (voir plus loin "Création des Transformers : la "jointure" entre les fichiers et la liste de noms" -> AttributeSplitter)

- L'attribut **path_windows** : stocke le chemin d'accès complet à la donnée lue en entrée par le Reader (ex. : C:\Temp\RGEALTI_0310_6262.asc)
- L'attribut **path_filename** : stocke le nom du fichier et son extension, sans le chemin d'accès complet (ex.: RGEALTI_0310_6262.asc)
- L'attribut **path_rootname** : stocke le nom du fichier sans son extension ni le chemin d'accès complet (ex. : RGEALTI_0310_6262)

Pour désigner le format "**Directory and File Pathnames**" du Reader 1, il suffit de le sélectionner dans la liste de formats :



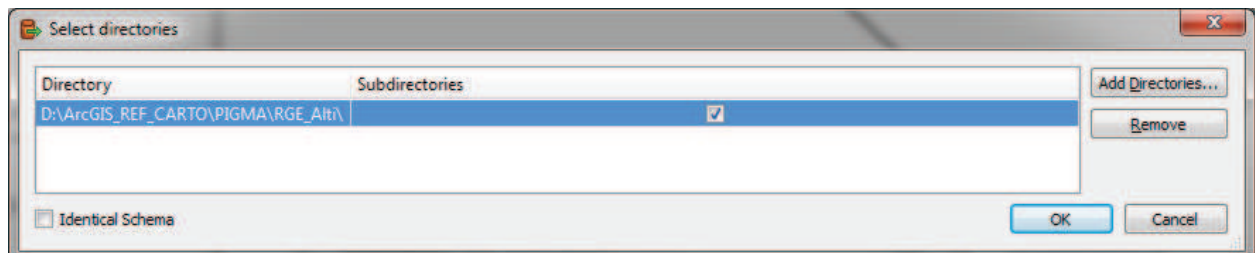
3- Renseigner le **Dataset (jeu de données)**

Le Dataset est le dossier-source dans lequel se trouvent les fichiers à extraire. Pour créer un Reader dans FME, il est obligatoire de désigner un Dataset. Pour la conception du Workbench visant à extraire des fichiers du dossier RGE_Alti, on peut désigner ce dernier comme Dataset. L'utilisateur aura toutefois la possibilité de désigner ultérieurement d'autres dossiers-sources (voir plus loin "Définition des paramètres utilisateurs et leur publication").

4-1 Pour renseigner le Dataset, il est recommandé d'utiliser l'icône "**Open Advanced Browser**" > **Add Directories...**

4-2 Il est conseillé de cocher la case "**Subdirectories**" de manière à autoriser le programme à explorer les sous-dossiers de RGE_Alti

4-3 Cliquer sur **OK**



4- Déterminer les **paramètres** généraux du Reader

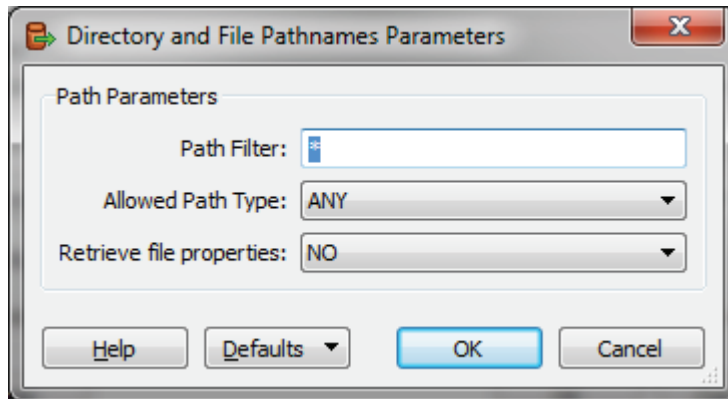
Le Path Filter permet d'appliquer un filtre pour ne cibler que des données précises. Le filtre peut porter sur n'importe quel caractère ou groupe de caractères de la syntaxe des chemins d'accès aux données.

Un Path Filter fixé avec * signifie qu'aucun filtre ne sera appliqué.

Pour filtrer les fichiers sur l'extension .asc, le Path Filter sera *.asc

Pour filtrer les fichiers sur plusieurs extensions, le Path Filter sera *.{asc,prj}

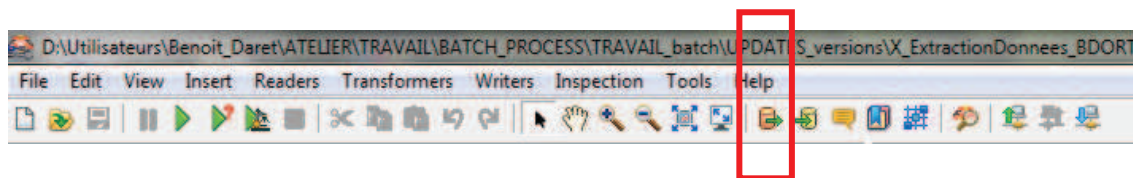
Les paramètres par défaut ont été conservés pour la conception du Workbench **extraction_RGEALTI_Solarradiation_v4.fmw**



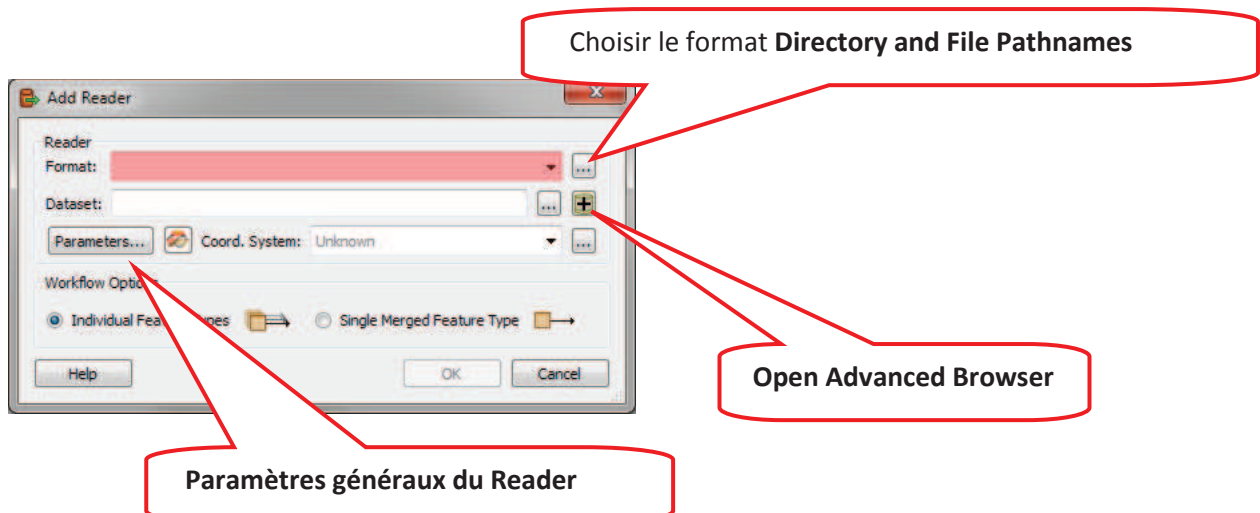
5 - Cliquer sur **OK** de la fenêtre Add Reader : le Reader est ajouté dans la fenêtre principale du Workbench

Création du Reader 2 : la liste de noms (fichier .dbf)

1- Cliquer sur l'icône **Add Reader**



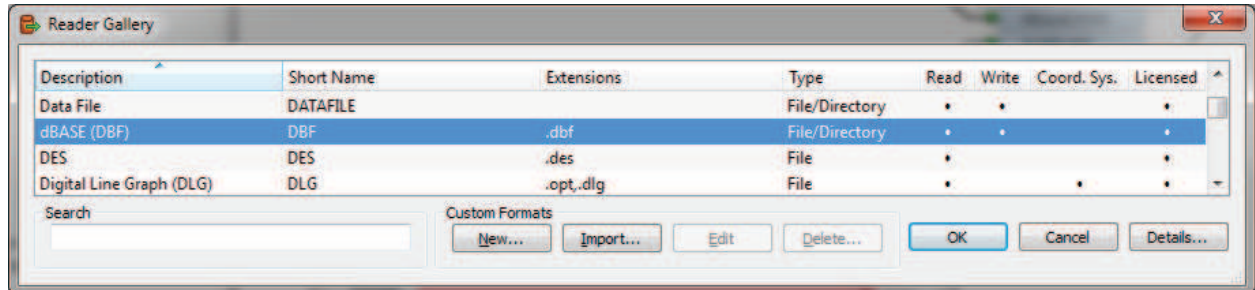
La fenêtre **Add Reader** suivante s'ouvre :





2- Renseigner le **format**

Pour ce Workbench, le format utilisé pour la lecture de la liste de noms est dBASE (DBF).



3- Renseigner le **Dataset (jeu de données)**

Le Dataset est le fichier .dbf stockant la liste des noms de fichiers à extraire.

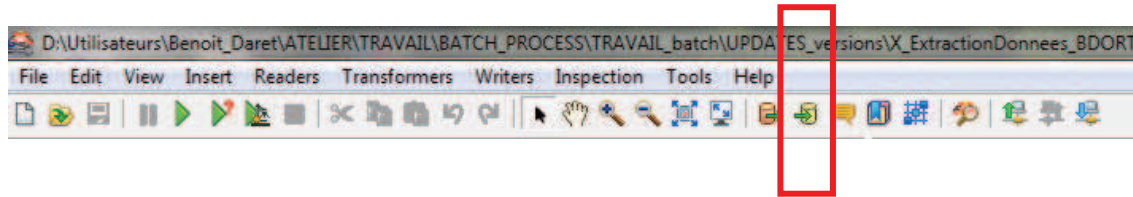
Remarque

En désignant le fichier .dbf lors de la création du Reader, ce dernier détecte automatiquement l'en-tête de colonne de la table DBF et l'inscrit de manière permanente dans les caractéristiques du Reader. Tout autre table comportant exactement le même en-tête pourra être lue. Toutefois, si l'on souhaite utiliser une table DBF comportant un autre en-tête, il faudra créer un nouveau Reader et renseigner comme Dataset le fichier .dbf comportant le nouvel en-tête..

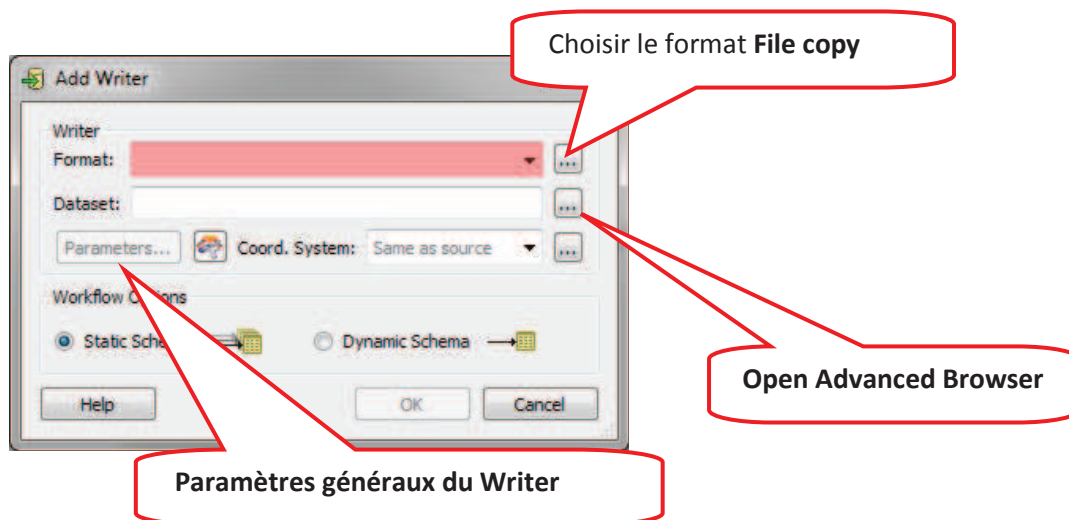


Création du Writer : la fonction copier/coller

1- Cliquer sur l'icône **Add Writer**

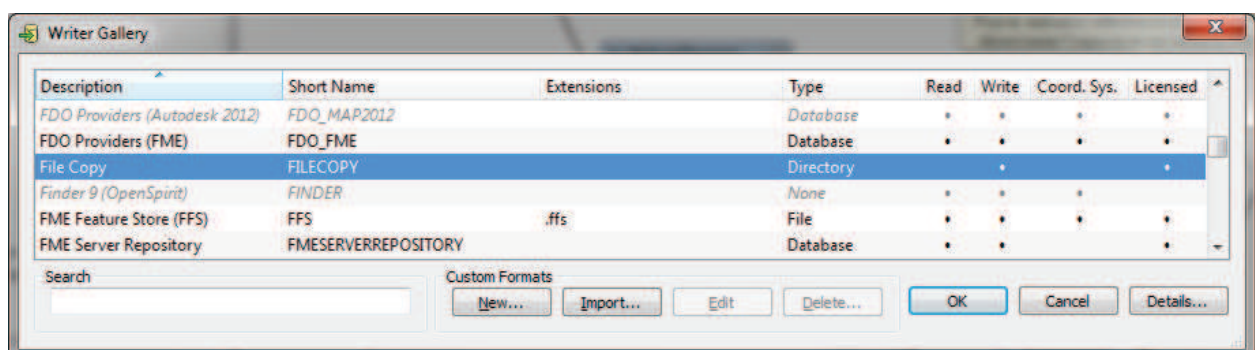


La fenêtre **Add Writer** suivante s'ouvre :



2- Renseigner le **format**

Pour ce Workbench, le format utilisé pour la lecture de la liste de noms est **File Copy**. Il spécifie la fonction copier/coller pour les fichiers du Dataset ciblé par le Reader et manipulés lors des diverses étapes du Workflow.





A la différence d'un Reader, un Writer n'a pas nécessairement besoin qu'on lui désigne un **Dataset** pour être créé et ajouté dans le Workbench. Le paramètre Dataset de la fenêtre Add Writer peut donc être laissé vide.

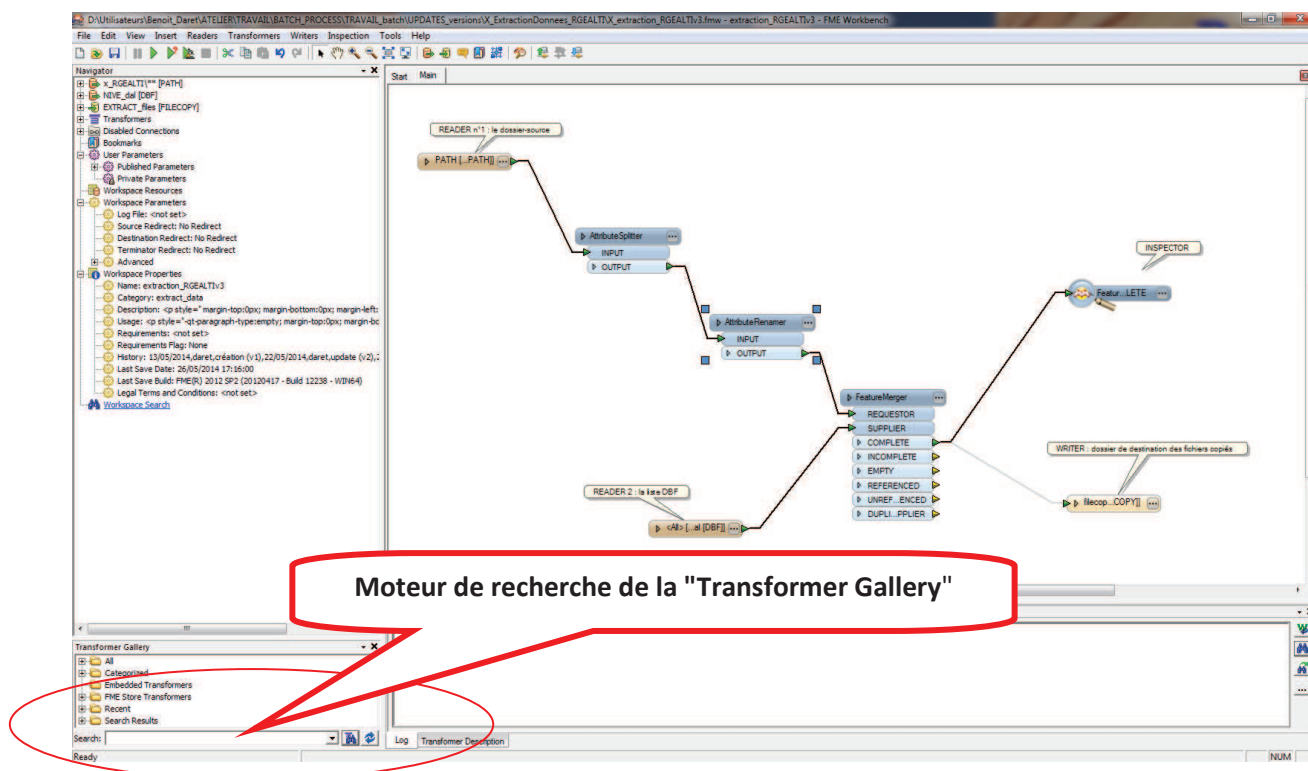
3 - Les **paramètres généraux** du Writer peuvent être définis à ce stade. Il pourront également être par la suite publiés en tant que paramètres-utilisateur, offrant ainsi à ce dernier la possibilité de modifier les paramètres initiaux (voir plus loin). Les choix arrêtés à ce stade ne sont donc pas définitifs.

Création des Transformeurs : la "jointure" entre les fichiers et la liste de noms

AttributeSplitter

Sa fonction est de décomposer les attributs créés par le Reader "**Directory and File Pathnames**" et tout particulièrement, dans notre cas, l'attribut file_pathname (voir plus haut "Création du Reader 1 : le dossier source"). L'objectif est de ne retenir que l'enchaînement des caractères figurant avant l'extension du fichier. Les fichiers comportant une "triple extension" (ex. 24-2009-0455-6425-LA93-40-C07.ecw.aux.xml) posent problème puisque la véritable extension d'un tel fichier est .xml. Par conséquent, tous les caractères la précédant constituent le nom du fichier, y compris les caractères .ecw.aux. Or ces caractères ne figurent pas dans la liste DBF des noms de fichiers. Il faut donc les éliminer : c'est le rôle de **AttributeSplitter**.

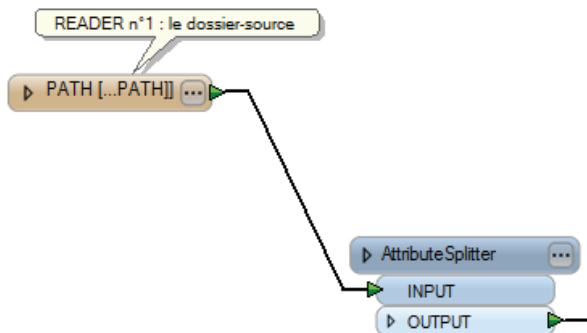
1 - Dans le moteur de recherche de la "**Transformer Gallery**" > taper **AttributeSplitter**



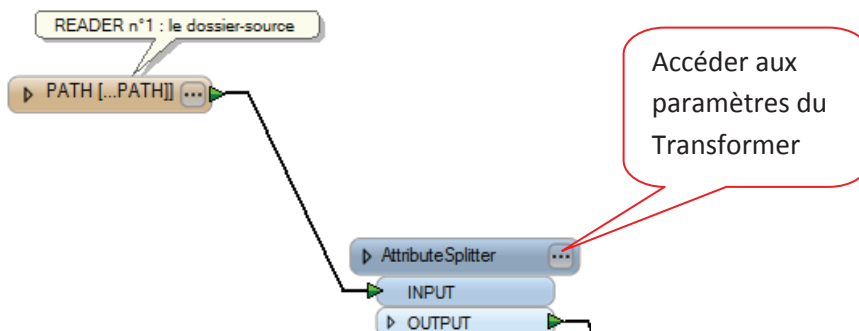
2 - Dans la liste de Transformeurs proposée, double clic sur **AttributeSplitter** (il s'ajoute automatiquement dans la fenêtre principale du Workbench)



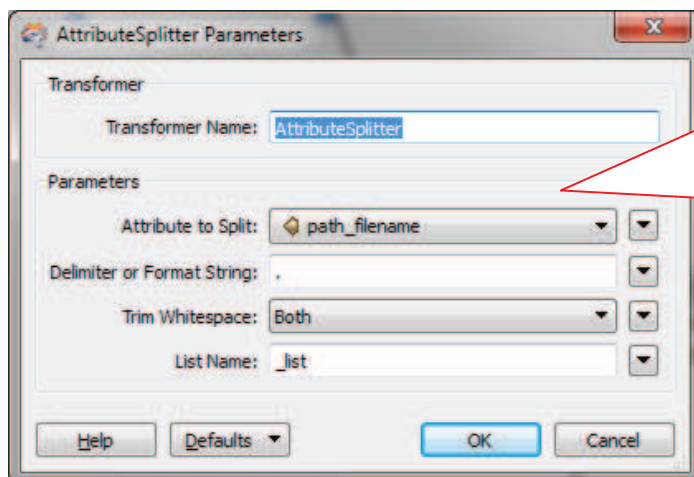
3 - Connecter le Reader 1 à **AttributeSplitter** (port INPUT)



4 - Accéder aux **paramètres du Transformer** et renseigner les éléments comme suit :



Accéder aux paramètres du Transformer



L'attribut path_filename va être "découpé" au niveau des (.)
 Les morceaux de syntaxe ainsi créés seront stockés dans des variables nommées _list (_list{0}, _list{1} etc.). C'est _list{0} qui nous intéressera par la suite car c'est cette variable qui stocke le nom du fichier (le nom sans l'extension)

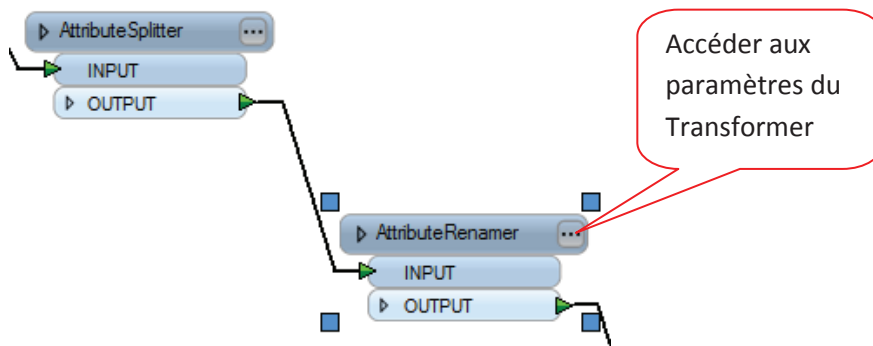
5 - Cliquer sur **OK**



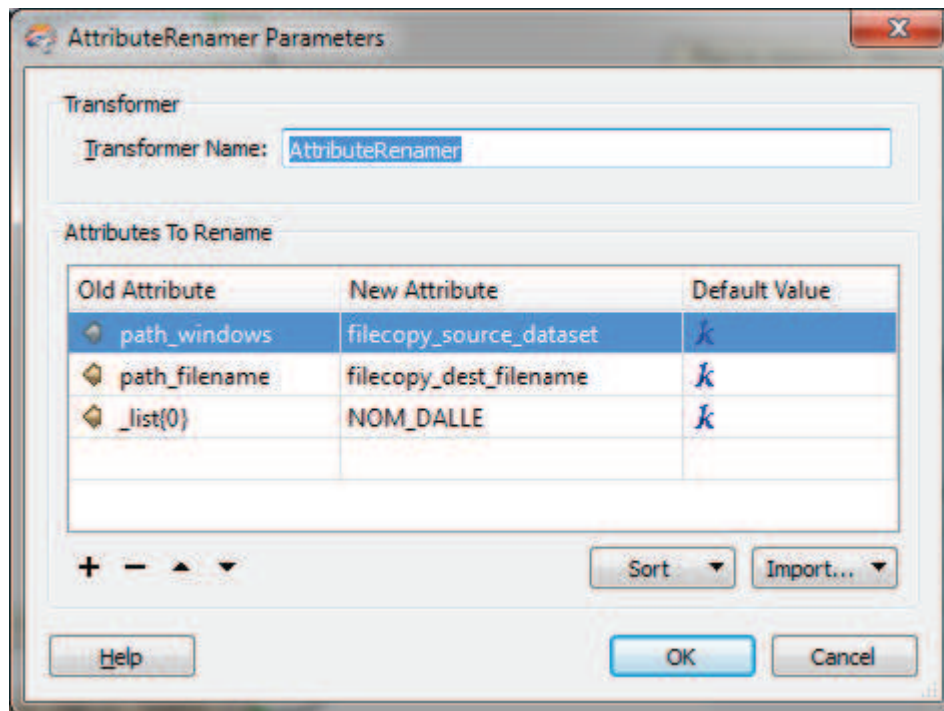
AttributeRenamer

Sa fonction dans ce Workbench est de renommer les 3 attributs FME automatiquement créés par le Reader "Directory and File Pathnames" et utilisés par le Transformer **AttributeSplitter** (voir précédemment "Création des Transformers : le "jointure" entre les fichiers et la liste de noms" -> AttributeRenamer).

- 1 - Dans le moteur de recherche de la "**Transformer Gallery**" > taper **AttributeRenamer**
- 2 - Dans la liste de Transformers proposée, double clic sur **AttributeRenamer** (il s'ajoute automatiquement dans la fenêtre principale du Workbench)
- 3 - Connecter le **AttributeSplitter** à **AttributeRenamer** (port INPUT)



- 4 - Accéder aux **paramètres du Transformer** et renseigner les éléments comme suit :



- L'attribut **_list{0}** a été renommé en fonction du nom du champ attributaire de la liste DBF. Dans le cas du RGE_Alti, ce champ attributaire est **NOM_DALLE**
- L'attribut **path_windows** a été renommé en **filecopy_source_dataset** pour qu'il corresponde à l'attribut de format du Writer
- L'attribut **path_filename** a été renommé en **filecopy_dest_filename** pour qu'il corresponde à l'attribut de format du Writer

5 - Cliquer sur **OK**

FeatureMerger

Sa fonction dans ce Workbench est de faire la correspondance entre les fichiers "lus" par le Reader 1 et la liste de noms lue par le Reader 2. Cette "jointure" s'effectue sur le nom du champ attributaire de la liste contenue dans le fichier DBF.

1 - Dans le moteur de recherche de la "**Transformer Gallery**" > taper **FeatureMerger**

2 - Dans la liste de Transformers proposée, double clic sur **FeatureMerger** (il s'ajoute automatiquement dans la fenêtre principale du Workbench)

3 - Connecter **AttributeRenamer** (port OUTPUT) à **FeatureMerger** (port REQUESTOR)

4 - Connecter le Reader 2 à **FeatureMerger** (port SUPPLIER)



5 - Connecter **FeatureMerger** (port COMPLETE) au **Writer** (il est ensuite conseillé de temporairement désactiver la connexion, le temps d'effectuer les tests de bon fonctionnement du Workbench grâce à l'ajout d'un **Inspector** voir ci-après)

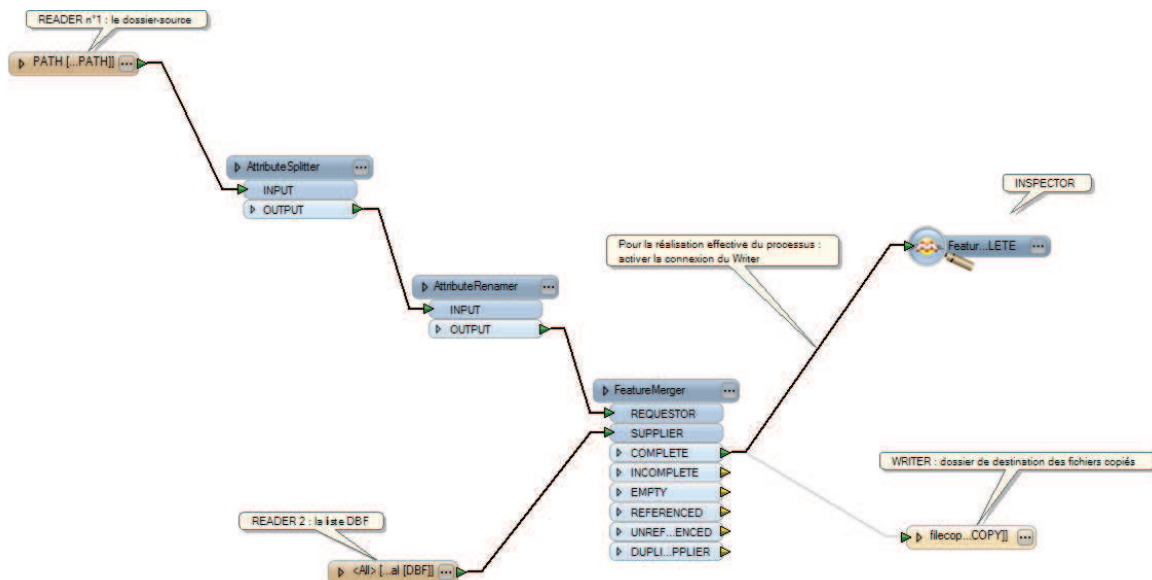
- Clic droit sur la connexion > **Disable**
- pour activer une connexion préalablement désactivée : Clic droit sur la connexion > **Enable**
-

Afin d'assurer une forme de "sécurité" dans le Workbench, il est utile voire indispensable d'ajouter un **Inspector** à la fin du workflow. Le rôle de l'Inspector va être de pré visualiser les résultats du Workbench pour vérifier le bon accomplissement des tâches. Il va donc prendre temporairement le rôle du Writer. Il va ainsi accomplir la même tâche (copier/coller), mais virtuellement, et afficher les pseudo résultats dans une fenêtre spéciale : FME Universal Viewer, au sein de laquelle les résultats (virtuels) du Workbench pourront être vérifiés.

6 - Connecter un **Inspector** au port COMPLETE de **FeatureMerger** :

- Clic droit sur le port COMPLETE > **Connect Inspector**

Tant que la connexion entre **FeatureMerger** et **Inspector** est activée, et que la connexion entre **FeatureMerger** et **Writer** est désactivée, le processus de copie des fichiers n'est que virtuel. La présence d'un Inspector dans le Workbench déclenche automatiquement l'ouverture de FME Universal Viewer à la fin du processus. C'est au sein de ce visualiseur que les données peuvent être vérifiées.

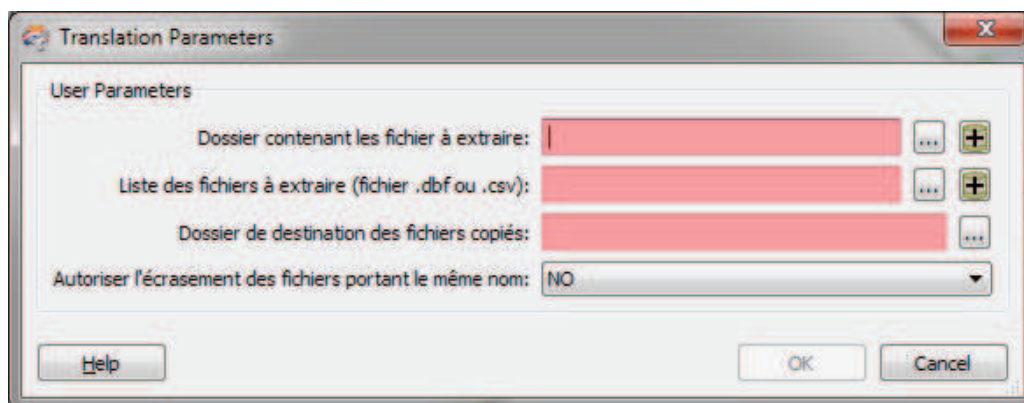




Définition des paramètres-utilisateurs et leur "publication"

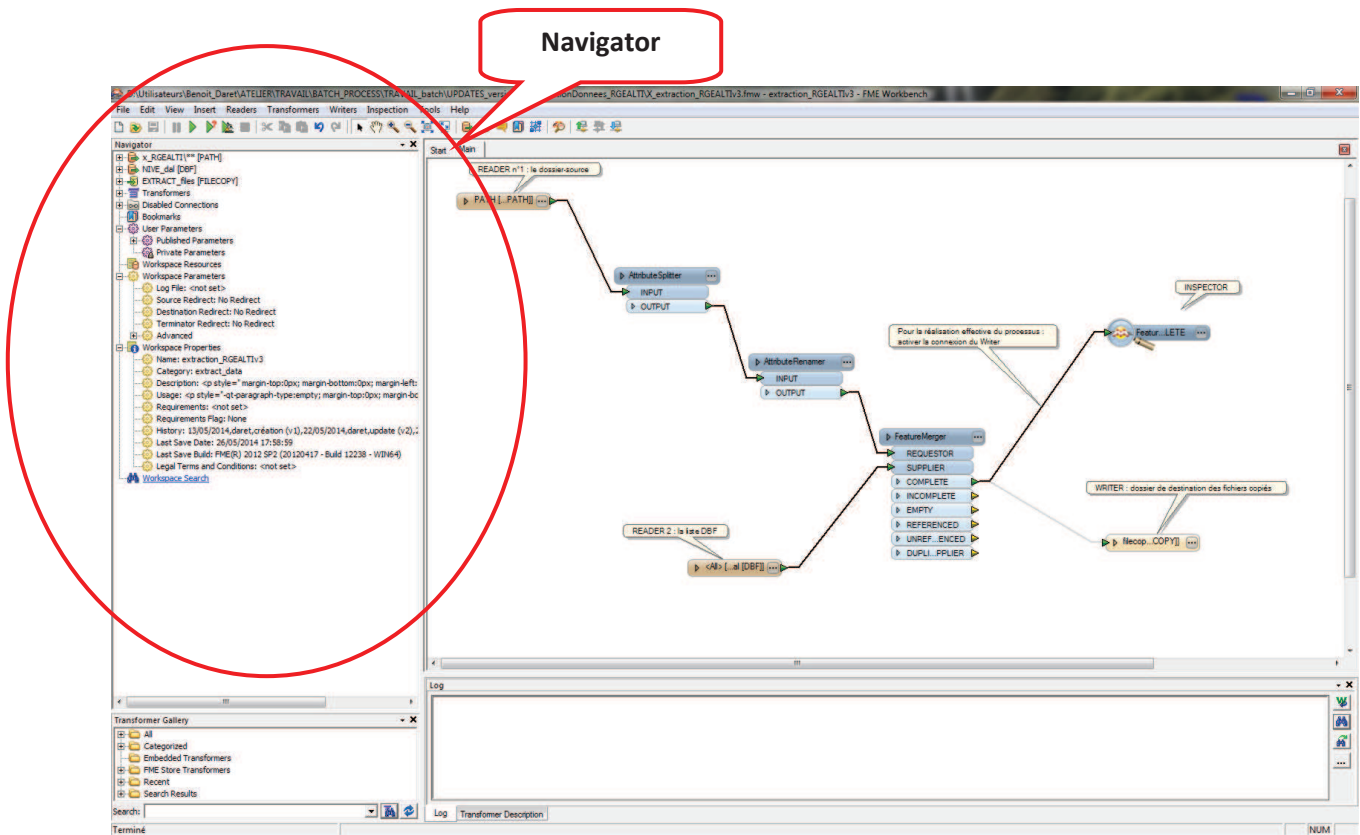
Lorsque le processus va être lancé, il est nécessaire de présenter à l'utilisateur les paramètres lui permettant de cibler le dossier-source contenant les fichiers à extraire, le fichier .dbf contenant la liste des noms de fichiers à extraire et le dossier de destination des fichiers copiés. Il peut également être utile de laisser à l'utilisateur le choix de décider s'il souhaite que des fichiers portant les mêmes noms soient écrasés lors de la copie. Il s'agit donc de créer un "formulaire" de saisie plus souple d'emploi que la modification directe des éléments du Workbench.

L'aspect du formulaire sera le suivant :



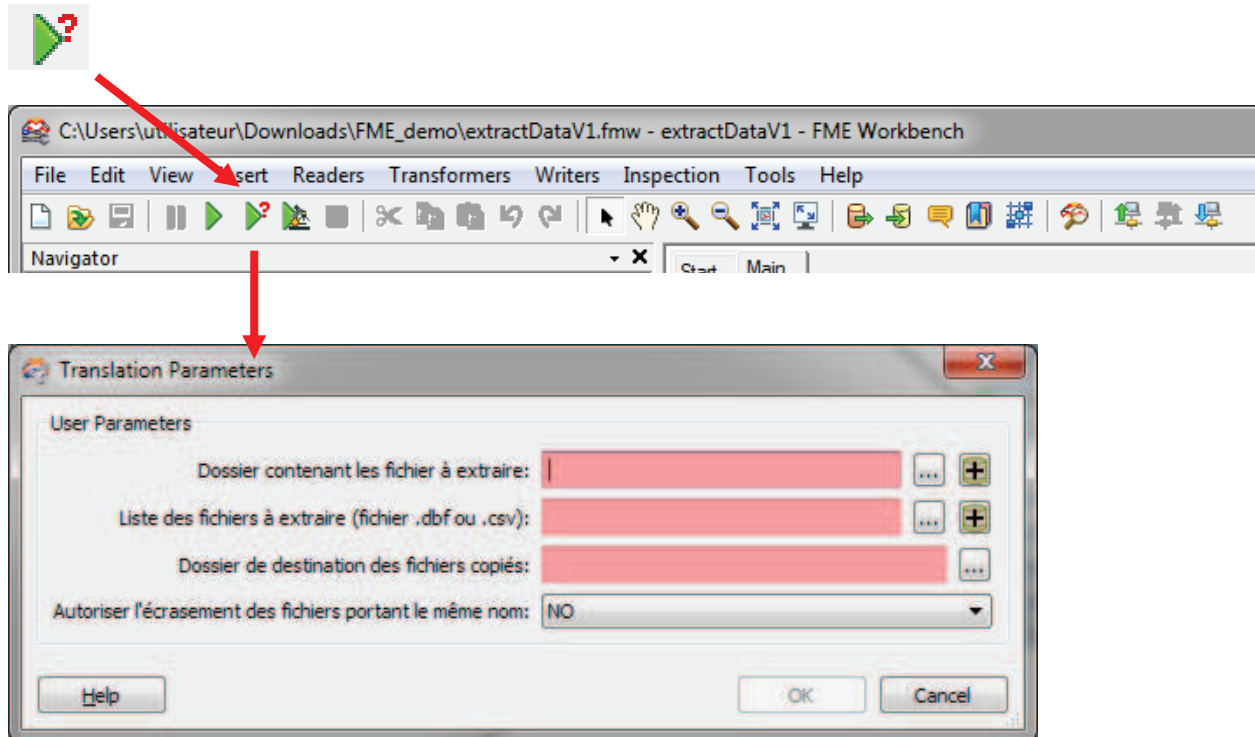


Le choix des paramètres à présenter à l'utilisateur s'effectue dans la partie "Navigator" de l'interface FME.





En outre, l'utilisation de ces paramètres "publiés" ("Published Parameters") au sein d'une fenêtre unique de contrôle est entièrement conditionnée par l'emploi de la commande de lancement "**Prompt and Run Translation**".

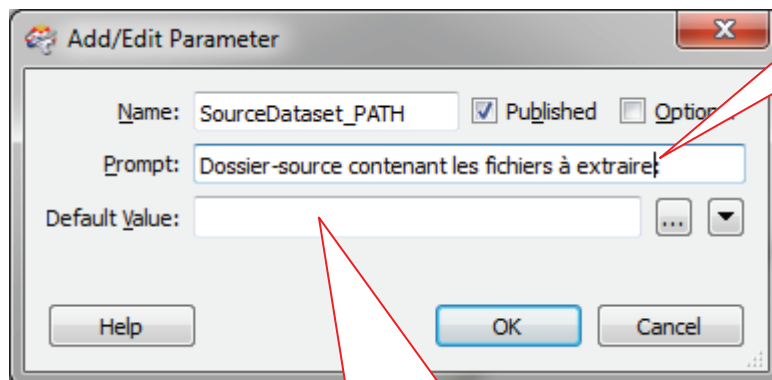


1 - Dans le **Navigator**, déployer la partie **Parameters** des **Reader** et du **Writer**

Les paramètres publiés vont être les suivants :

- **Reader 1** : Source Directory and File Pathnames Directory
- **Reader 2** : Source dBASE (DBF) File(s)
- **Writer** :
 - Destination File Copy Directory
 - Overwriting Existing File

2 - Clic droit sur le **paramètre** à publier > **Create User Parameter...**



Renommer de manière plus explicite le titre du paramètre présenté à l'utilisateur

Indiquer la valeur que prendra par défaut le paramètre lorsqu'il sera présenté à l'utilisateur. On peut laisser le paramètre vide de toute référence

3 - Cliquer sur **OK** : Le paramètre est automatiquement placé dans la partie **User Parameters > Published Parameters** du Navigator

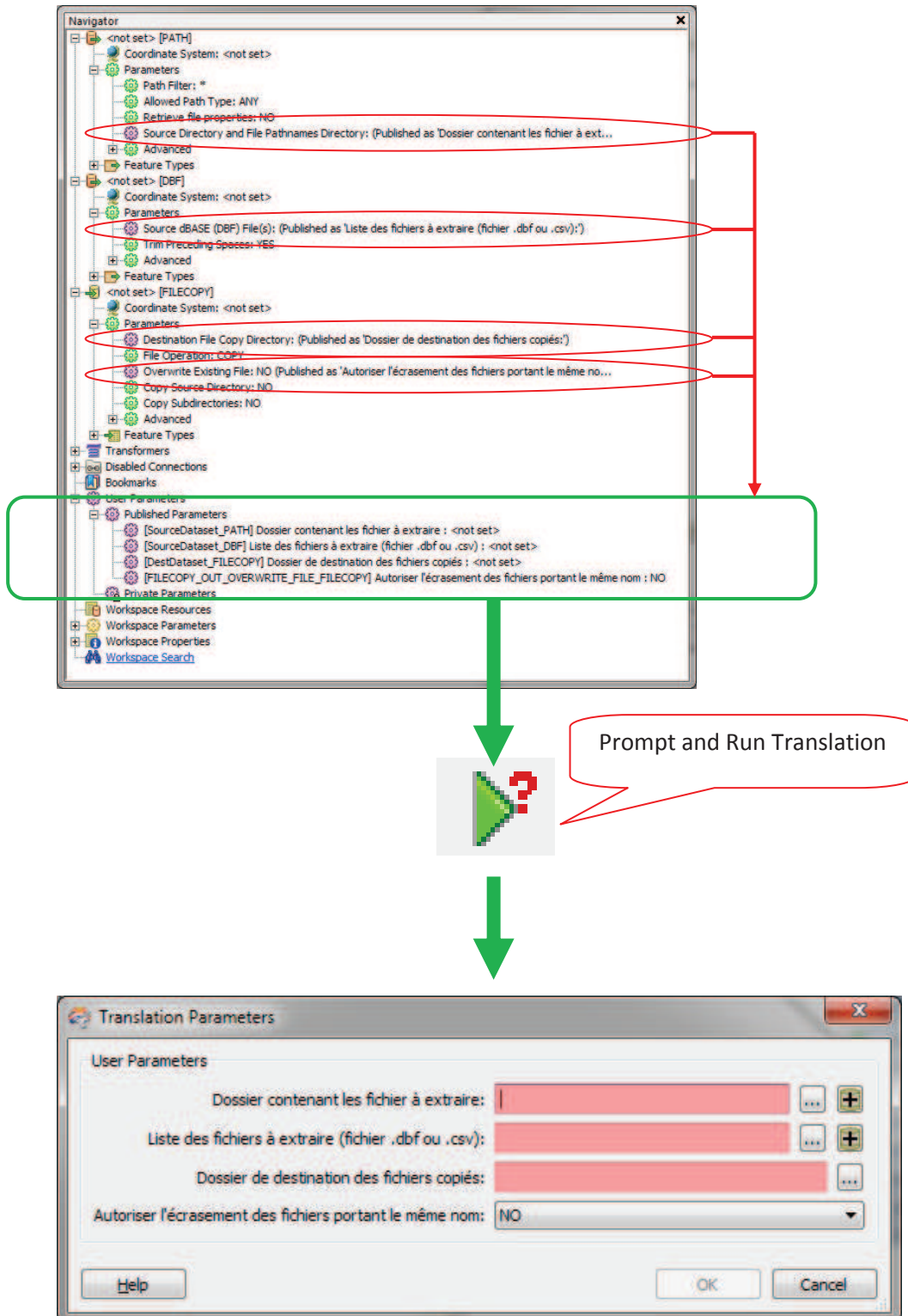
4 - Répéter l'opération pour les 4 paramètres

5 - Ajuster l'ordre de présentation des paramètres : dans **User Parameters > Published Parameters**, "drag and drop" des paramètres



Lancer le processus

Pour que l'utilisateur puisse renseigner les valeurs des paramètres publiés, il est impératif d'utiliser la commande de lancement "**Prompt and Run Translation**"





ANNEXE 2 : FME - Extraire des fichiers du RGEALTI Aquitaine

Logiciels : FME 2012 SP2, ArcGIS 10.2

Plateforme : Windows 7 pro 64 bits

Le dossier RGEALTI pour l'Aquitaine comporte 8 dossiers totalisant 7027 fichiers .asc (MNT). L'étude d'une zone peut nécessiter l'extraction de plusieurs dizaines voire centaines de fichiers qu'il est fastidieux de copier/coller individuellement. Cette fiche présente une méthode permettant d'extraire des fichiers d'un dossier à partir d'une liste de noms de fichiers. La liste est produite à partir des tables attributaires des Shapefile "Tableau d'assemblage" présents dans chaque sous-dossier du dossier RGE ALTI. Elle est ensuite utilisée dans un Workbench FME¹ pour trouver et copier/coller, dans un dossier précis, les fichiers portant les mêmes noms que ceux figurant dans la liste.

Méthode

La méthode retenue :

- a- Déterminer spatialement, dans ArcGIS par exemple, les fichiers à extraire grâce au Shapefile représentant l'assemblage des dalles (emprise spatiale des fichiers .asc) fourni avec chaque sous-dossier du RGE ALTI;
- b- Exporter la table attributaire de cette sélection spatiale au format DBF devenant ainsi la liste de noms de fichiers à extraire du dossier-source;
- c- Utiliser FME pour extraire du dossier RGE ALTI les fichiers dont les noms figurent dans la liste DBF.

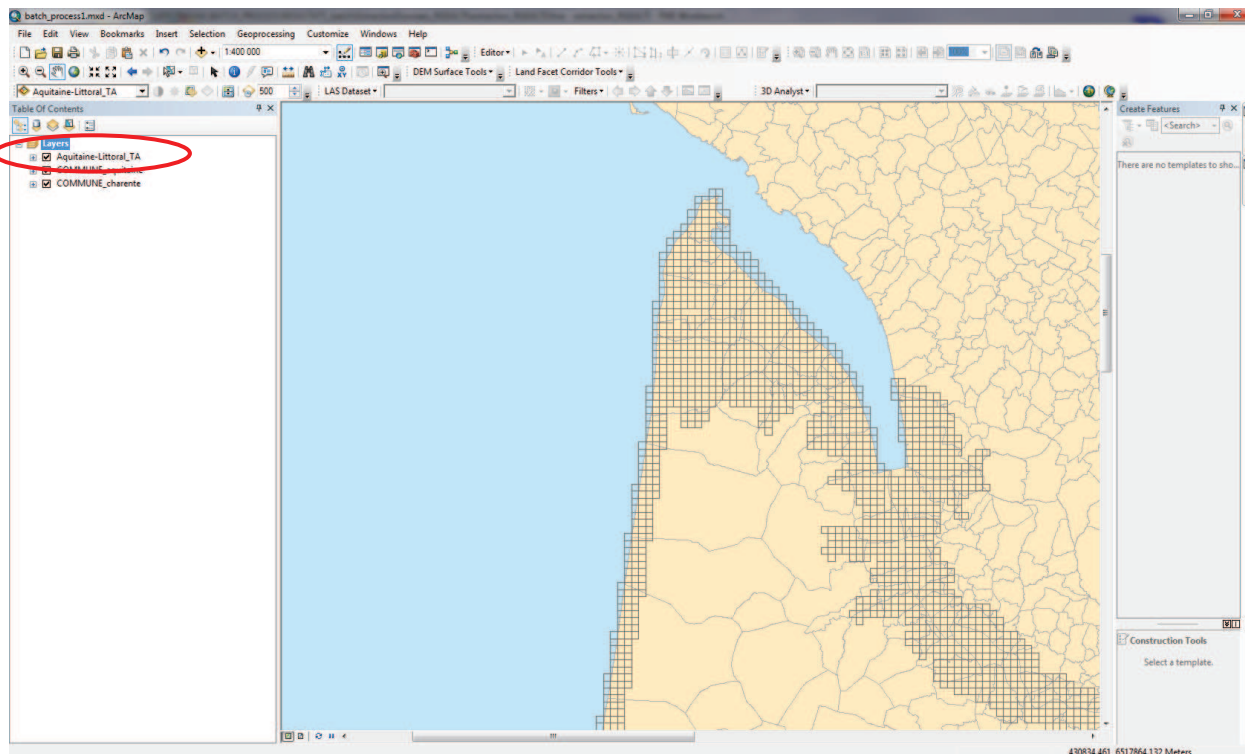
¹ Dans le logiciel FME, un Workbench désigne l'application permettant de créer un enchaînement de tâches informatiques



Lister les fichiers du RGE à extraire (ArcGIS)

La méthode la plus fréquemment utilisée pour repérer les fichiers du RGE ALTI correspondant à une zone d'étude précise consiste dans un premier temps à repérer les fichiers concernés via le Shapefile "Tableau-Assemblage" fourni par l'IGN dans chaque sous-dossier du dossier "RGE_Alti".

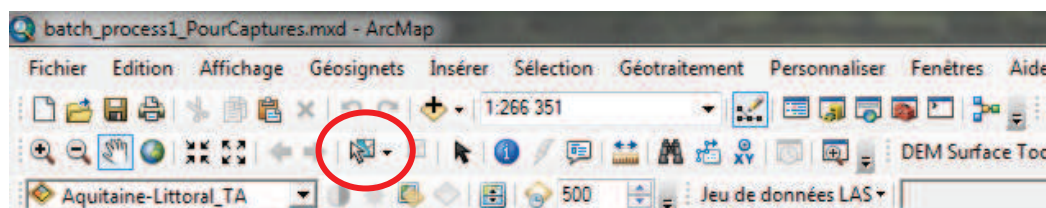
L'exemple suivant porte sur le Shapefile "Aquitaine_Littoral_TA".



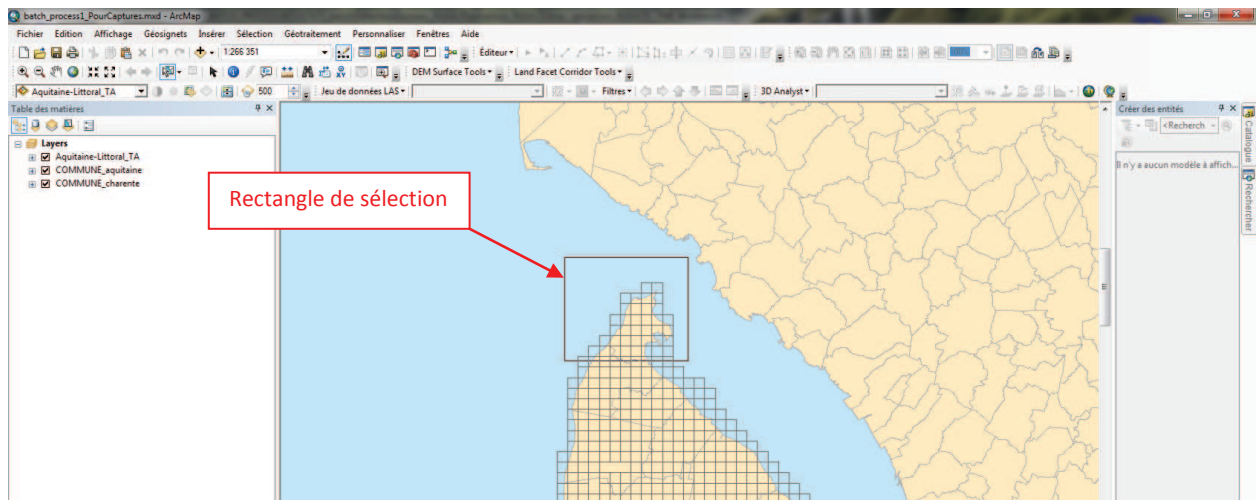
C'est à partir de ce Shapefile que les fichiers correspondant à la zone d'étude que l'on souhaite extraire vont être sélectionnés.

La méthode la plus directe est de procéder à un sélection spatiale "manuelle" :

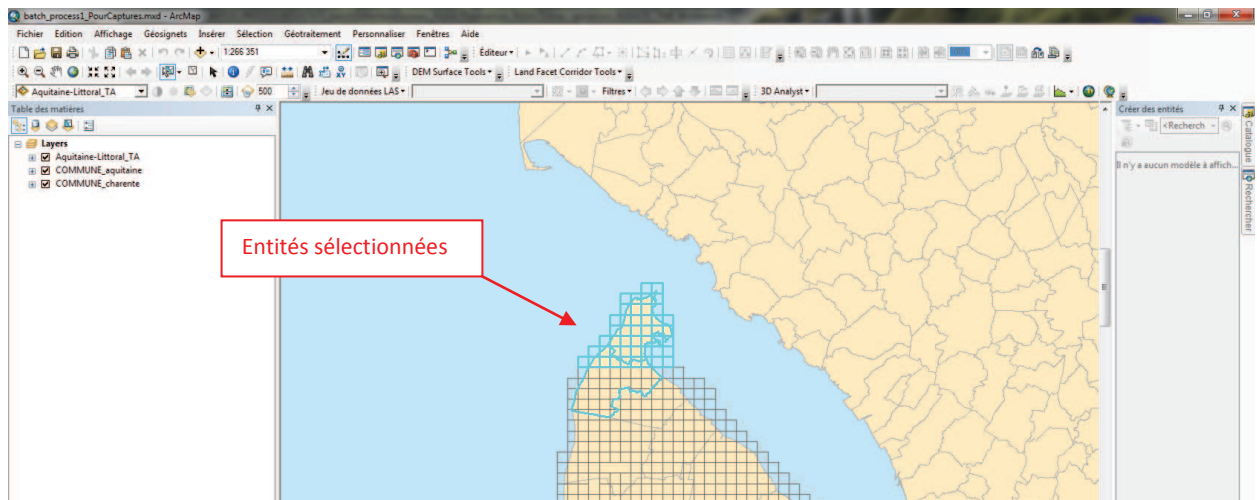
1- Cliquer sur "Sélectionner des entités"



2- Tracer sur la carte la zone à sélectionner

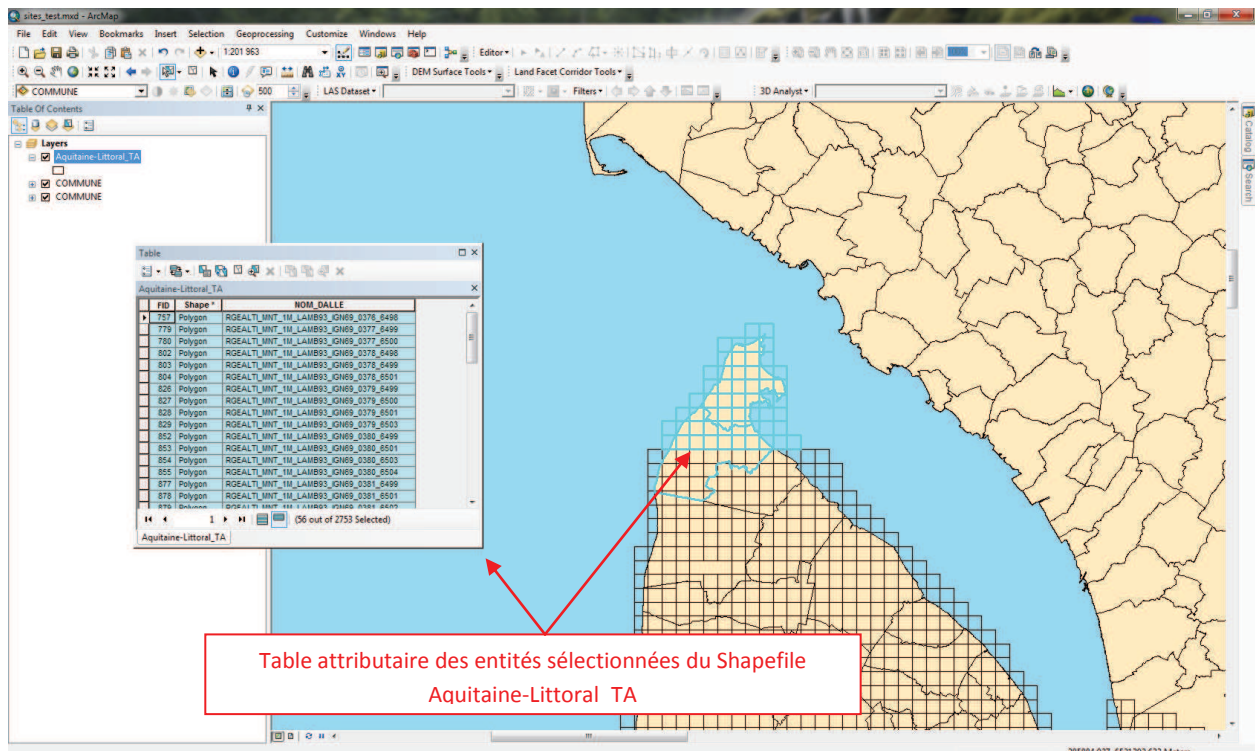


Toutes les entités des couches de la carte se trouvant dans la zone tracée à l'écran sont sélectionnées et mises en surbrillance bleue.



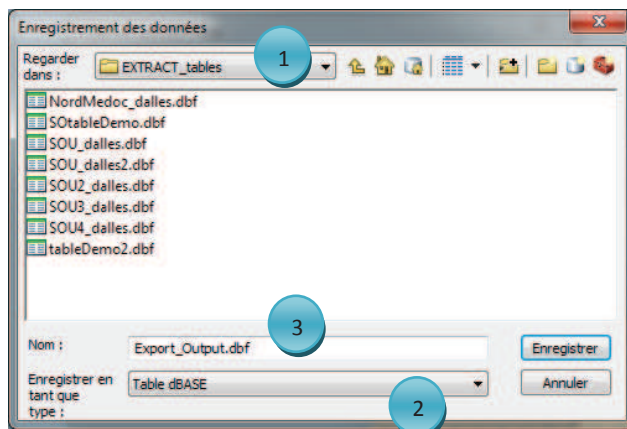
Les entités sélectionnées du Shapefile "Aquitaine_Littoral_TA" nous intéressent puisqu'elles contiennent, dans leurs informations attributaires, les noms des fichiers .asc à extraire.

3 - Clic droit sur le Shapefile Aquitaine-Littoral_TA (dans Table des matières) > **Sélection** > **Ouvrir la table avec les entités sélectionnées**



4 - Dans la Tables des entités sélectionnées cliquer sur *Options de la table* > **Exporter**

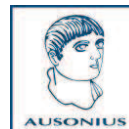
- Choisir l'**emplacement** de destination de l'export (1)
- Choisir le format de l'export : Table **dBASE** (.dbf) (2)
- **Nommer** le nouveau fichier .dbf (3)



Un fichier .dbf est ainsi créé, contenant la liste des noms des fichiers .asc d'une zone d'étude particulière. Cette liste peut être utilisée (via Spatial ETL Tool) pour extraire de leur dossier d'origine les fichiers répertoriés.

5 - **Désélectionner** les entités sélectionnées :

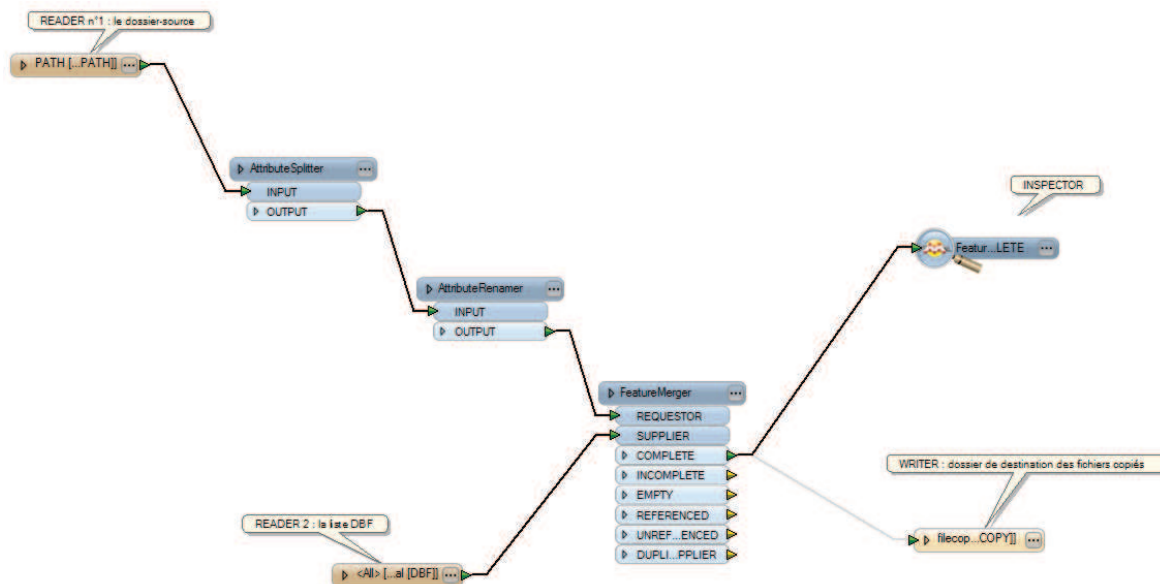




Extraire les fichiers grâce à FME

Le fichier **extraction_RGEALTI_SolarRadiation_v4.fmw** créé par la cellule géomatique contient le Workbench permettant d'accomplir l'extraction des fichiers .asc du dossier RGE_Alti au moyen d'une liste de noms stockés dans un fichier .dbf (voir ci-dessus).

1- Double clic sur **extraction_RGEALTI_SolarRadiation_v4.fmw** : FME Workbench s'ouvre avec, dans la fenêtre principale, le modèle d'exécution des tâches



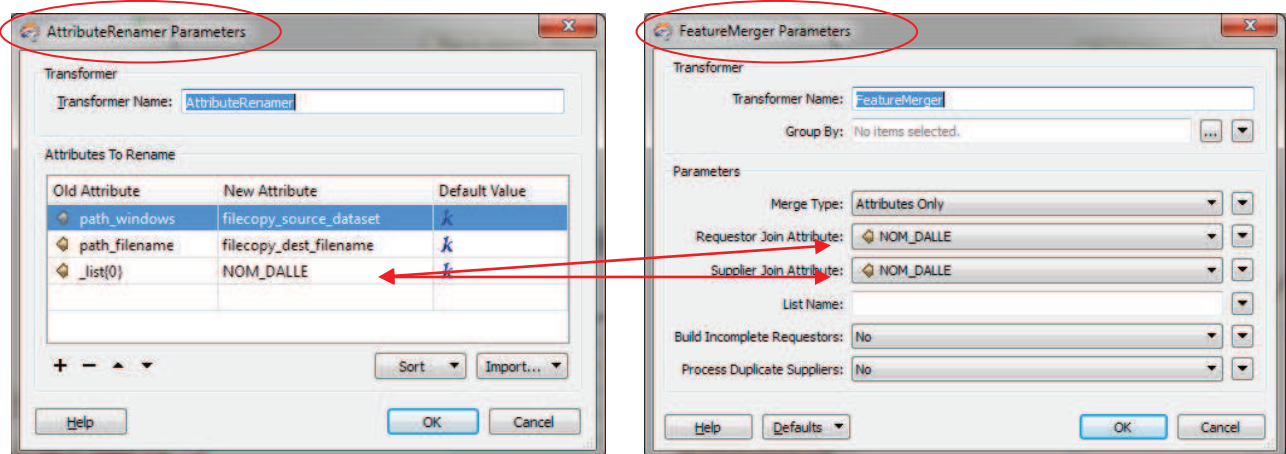
Le modèle est paramétré par défaut pour traiter des données du RGEALTI Aquitaine. Cela signifie qu'au niveau des Transformers² "**AttributeRenamer**" et "**FeatureMerger**", les noms d'attributs ont été préenregistrés, notamment pour correspondre à l'entête de colonne de la table DBF issue d'un Shapefile "Tableau d'assemblage" du RGEALTI (dont le terme est "NOM_DALLE").

Si l'outil est utilisé avec d'autres données, veiller à modifier ce paramètre pour qu'il corresponde à l'entête de colonne de la table DBF utilisée.

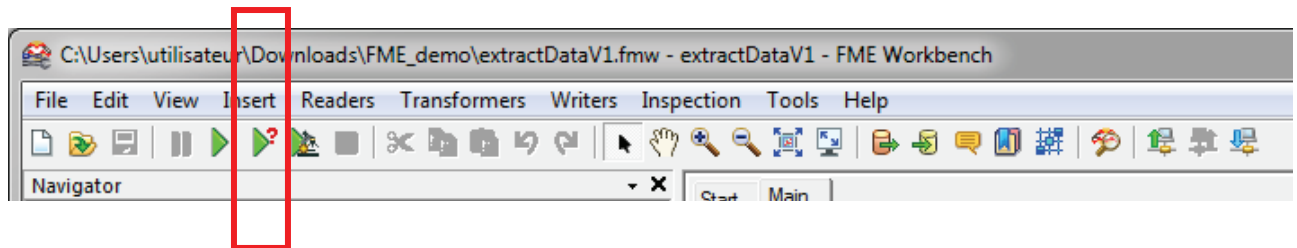
Remarque

Le Workbench a été paramétré pour "scanner" tout format de fichier. Par conséquent, des fichiers de formats différents mais aux noms (c'est à dire tous les caractères figurant avant l'extension) parfaitement identiques seront copiés. Si des fichiers .prj sont associés aux fichiers .asc, tous les fichiers seront ainsi copiés. Des fichiers aux extensions de type .aux.xml seront également copiés grâce au travail effectué par le Transformer **AttributeSplitter**.

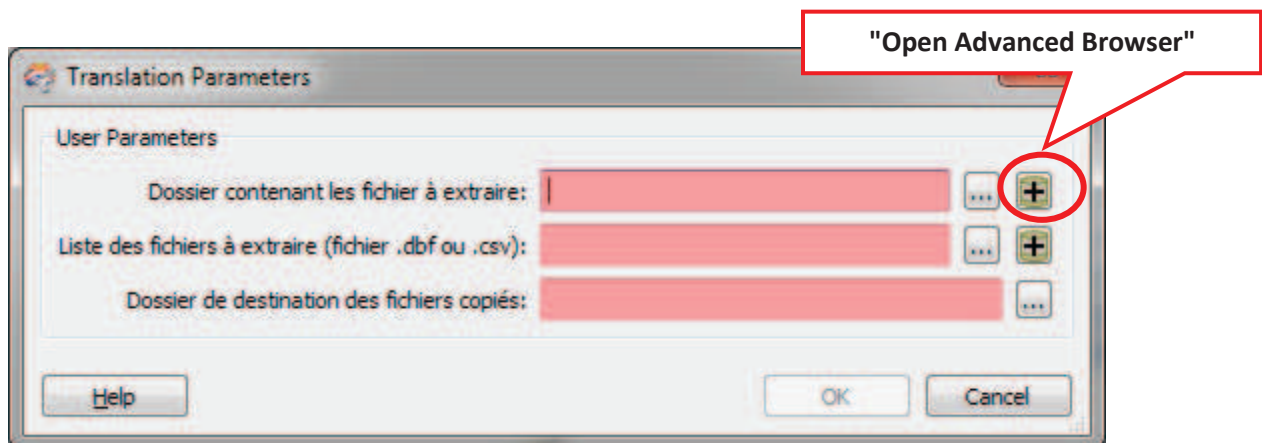
² Dans FME, un Transformer est un élément du Workbench permettant de restructurer une classe d'entité créée spécifiquement par le logiciel



3- Lancer le processus en utilisant la commande "**Prompt and Run Translation**"

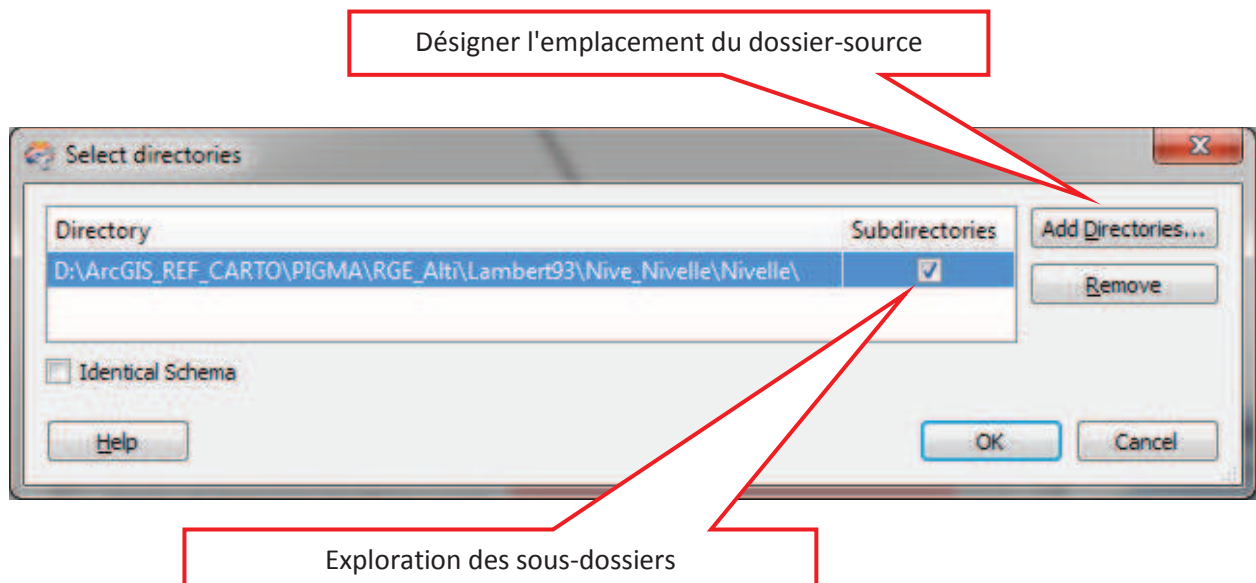


4- Dans la fenêtre **Translation Parameters**, indiquer les 3 éléments demandés :





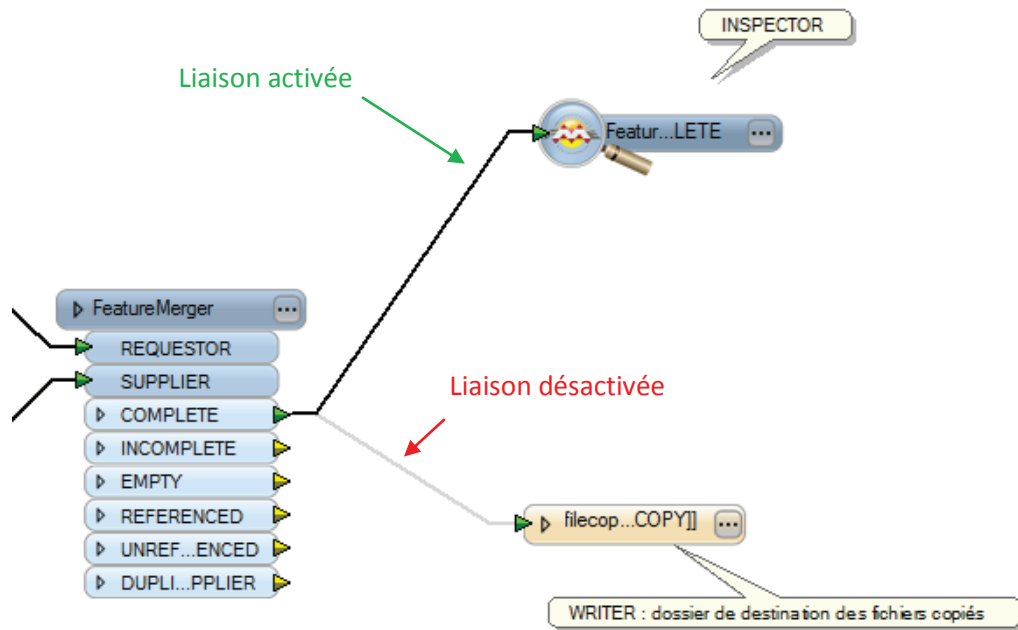
Pour la désignation du dossier contenant les fichiers à extraire, il faut avoir à l'esprit que des doublons de noms de fichiers sont présents dans le dossier RGE_Alti (car les secteurs géographiques couverts par les différents dossiers peuvent se chevaucher). Par conséquent, il n'est pas conseillé de désigner le dossier RGE_Alti comme dossier-source, mais de cibler plus précisément le dossier dans lequel se trouvent les fichiers à extraire (par ex. le dossier "Nivelle" voire encore plus précisément le sous-dossier ASC du dossier Nivelle). Si l'on ne désigne pas un sous-dossier "ASC", mais le dossier situé immédiatement "en amont de ce dernier" (par ex. le dossier "Nivelle"), il est conseillé d'utiliser l'icône "**Open Advanced Browser**". Cette dernière permet de désigner le dossier-source et de préciser que les sous-dossiers s'y trouvant doivent aussi être explorés :



5 - Cliquer sur OK (fenêtre **Select directories**)

6 - Cliquer sur OK (fenêtre **Translation Parameters**)

7 - Par défaut, un élément nommé **Inspector** a été placé en fin de chaîne de traitement. Il permet de vérifier le bon accomplissement du processus : lorsqu'il est connecté (et que la liaison du Writer est **désactivée**) le processus ne se réalise que **virtuellement**.



La présence d'un **Inspector** déclenche automatiquement l'ouverture de **FME Universal Viewer** à la fin du processus de copie virtuelle.

Via l'icône **Select No Geometry** de **FME Universal Viewer**, les résultats (virtuels) du processus sont visibles sous forme attributaire.

Attribute Name	Attribute Value
dbf_type	dbf_none
filecopy_dest_filename	RGEALTI_MNT_1M_LAMB893_IGN69_0375_6492.asc
filecopy_source_dataset	C:\Users\utilisateur\Downloads\FME_demo\FME_demo_asc\RGEALTI_MNT_1M_LAMB893_IGN69_0375_6492.asc
fme_basename	FME_demo_asc
fme_dataset	C:\Users\utilisateur\Downloads\FME_demo\FME_demo_asc
fme_feature_type	PATH
fme_geometry	fme_undefined
fme_type	fme_no_geom
multi_reader_full_id	0
multi_reader_id	0
multi_reader_keyword	
multi_reader_type	
NOM	
path_accessed_date	



8- Si tout est conforme dans **FME Universal Viewer** , lancer le processus pour véritablement, et non plus virtuellement, copier les fichiers dans le dossier de destination :

- Activer la liaison du **Writer** : *clic droit sur la liaison* > **Enable**
- Désactiver la liaison de **l'Inspector** : *clic droit sur la liaison* > **Disable** (facultatif)
- Cliquer sur la commande "**Prompt and Run Translation**" > renseigner les paramètres > **OK**

Remarque

Le Workbench a été paramétré pour interdire l'écrasement de fichiers aux noms identiques. Si le cas de figure se présente, le processus de copie cessera automatiquement.

Pour éviter ce type de désagrément, il est conseillé de désigner précisément un des sous-dossiers du dossier RGE_Alti. Dans ces sous-dossiers, les doublons n'existent pas.

L'utilisation de l'outil peut également être consultée via le Navigator du Workbench :

- clic droit sur **Workspace Properties** > **View...**> onglet **Usage**



ANNEXE 3 : Spatial ETL Tool - Extraire des fichiers du RGEALTI Aquitaine

Logiciel : ArcGIS 10.2

Plateforme : Windows 7 pro 64 bits

Le dossier RGEALTI pour l'Aquitaine comporte 8 dossiers totalisant 7027 fichiers .asc (MNT). L'étude d'une zone peut nécessiter l'extraction de plusieurs dizaines voire centaines de fichiers qu'il est fastidieux de copier/coller individuellement. Cette fiche présente une méthode permettant d'extraire des fichiers d'un dossier à partir d'une liste de noms de fichiers. La liste est produite à partir des tables attributaires des Shapefile "Tableau d'assemblage" présents dans chaque sous-dossier du dossier RGEALTI. Elle est ensuite utilisée dans un Workbench FME¹ pour trouver et copier/coller, dans un dossier précis, les fichiers portant les même noms que ceux figurant dans la liste.

Méthode

La méthode retenue :

- a- Déterminer spatialement, dans ArcGIS par exemple, les fichiers à extraire grâce au Shapefile représentant l'assemblage des dalles (emprise spatiale des fichiers .asc) fourni avec chaque sous-dossier du RGEALTI;
- b- Exporter la table attributaire de cette sélection spatiale au format DBF devenant ainsi la liste de noms de fichiers à extraire du dossier-source;
- c- Utiliser l'outil Spatial ETL Tool pour extraire du dossier RGEALTI les fichiers dont les noms figurent dans la liste DBF.

Grâce à l'extension Data Interoperability d'ArcGIS, il est possible d'utiliser FME Workbench dans l'environnement ArcGIS. Les outils **Spatial ETL Tools** permettent de créer des Workbench qu'il est ensuite possible d'exécuter soit via Data Interoperability, soit via une fenêtre d'outil de géotraitement ArcGIS "classique" dans ArcCatalog. Un outil Spatial ETL Tool se place d'ailleurs, comme n'importe quel autre outil ArcGIS, dans une Toolbox.

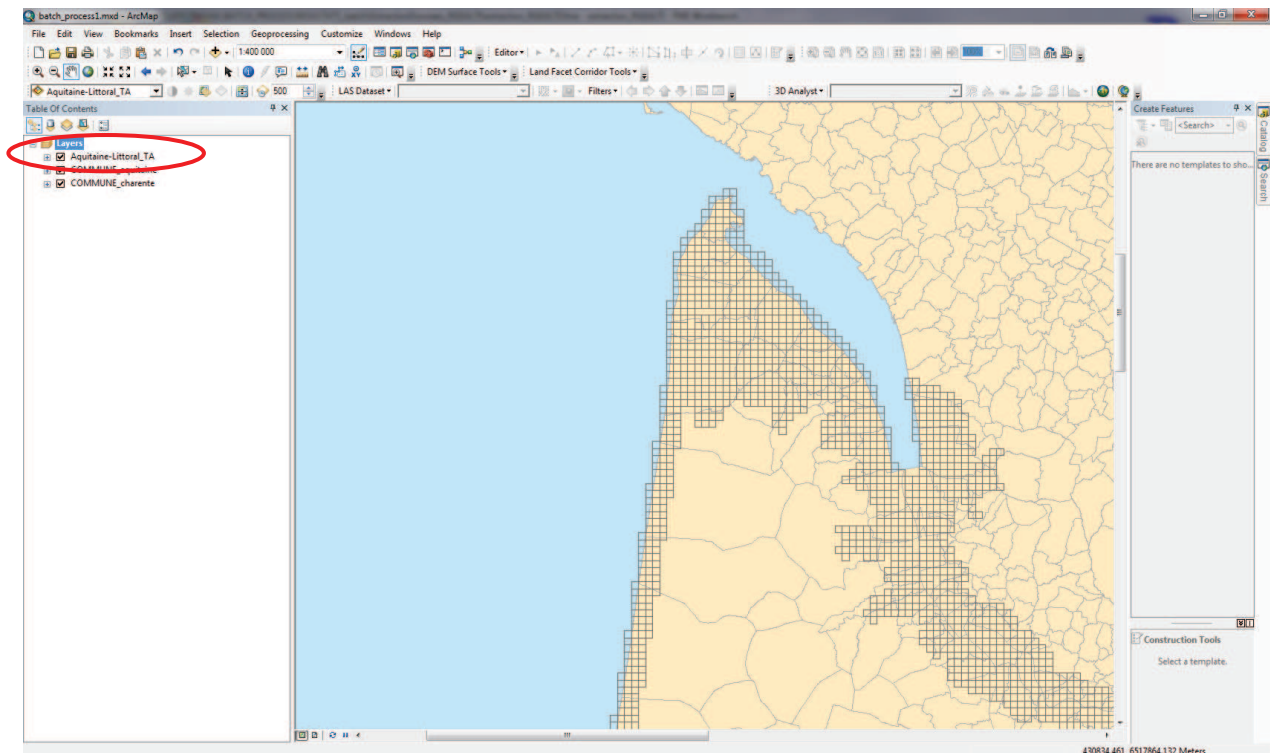
Deux outils Spatial ETL Tool nommés **extraction_RGEALTI** et **extraction_BDORTHO** ont été conçus par la cellule géomatique de l'Institut Ausonius pour extraire (copier/coller) facilement des fichiers des dossiers RGE_Alti et BD_Ortho. Il ont été placés dans une Toolbox nommée **ExtractData.tbx**. Il sont les répliqués des Workbench **extraction_RGEALTIv3.fmw** et **extraction_BDORTHOv3.fmw** conçus dans FME (voir fiche FME_extraire_des_fichiers_du_RGEALTI_Aquitaine.pdf)

La procédure détaillée ci-après prend **extraction_RGEALTI** comme exemple d'utilisation d'un Spatial ETL Tool.

¹ Dans le logiciel FME, un Workbench désigne l'application permettant de créer un enchaînement de tâches informatiques

Lister dans ArcGIS les fichiers du RGE à extraire

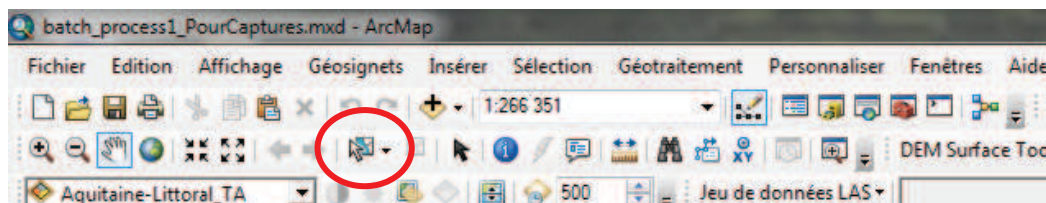
La méthode la plus fréquemment utilisée pour repérer les fichiers du RGE ALTI correspondant à une zone d'étude précise consiste dans un premier temps à repérer les fichiers concernés via le Shapefile "Tableau-Assemblage" fourni par l'IGN dans chaque sous-dossier du dossier "RGE_Alti". L'exemple suivant porte sur le Shapefile "Aquitaine_Littoral_TA".



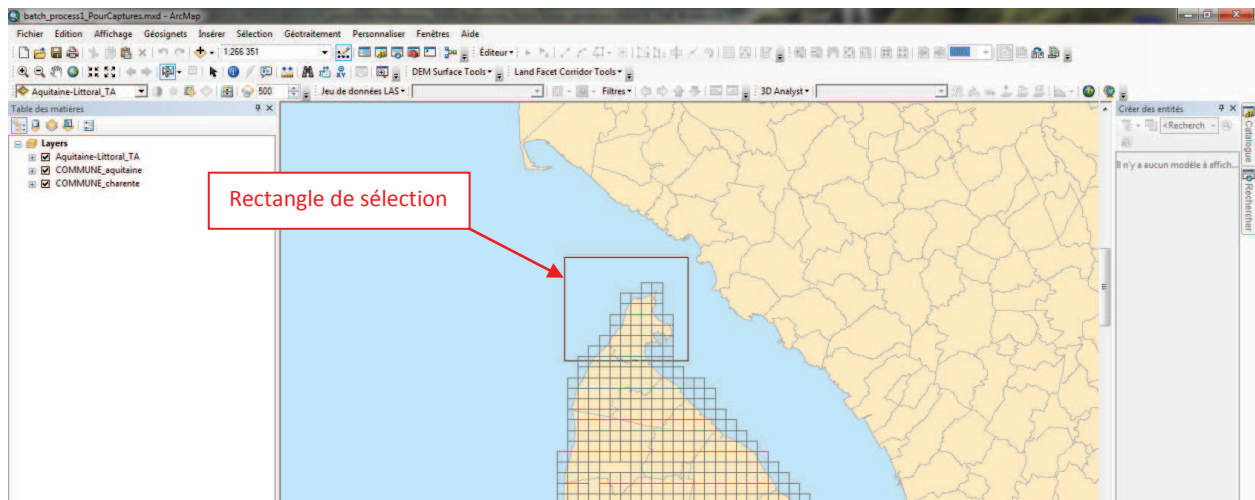
C'est à partir de ce Shapefile que les fichiers correspondant à la zone d'étude que l'on souhaite extraire vont être sélectionnés.

La méthode la plus directe est de procéder à un sélection spatiale "manuelle" :

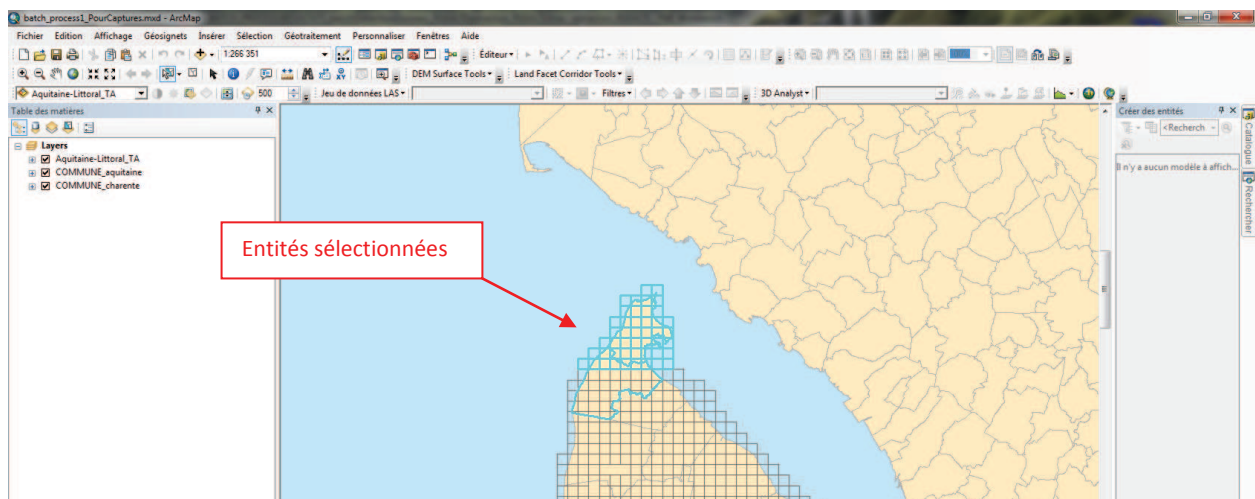
1- Cliquer sur "Sélectionner des entités"



2- Tracer sur la carte la zone à sélectionner

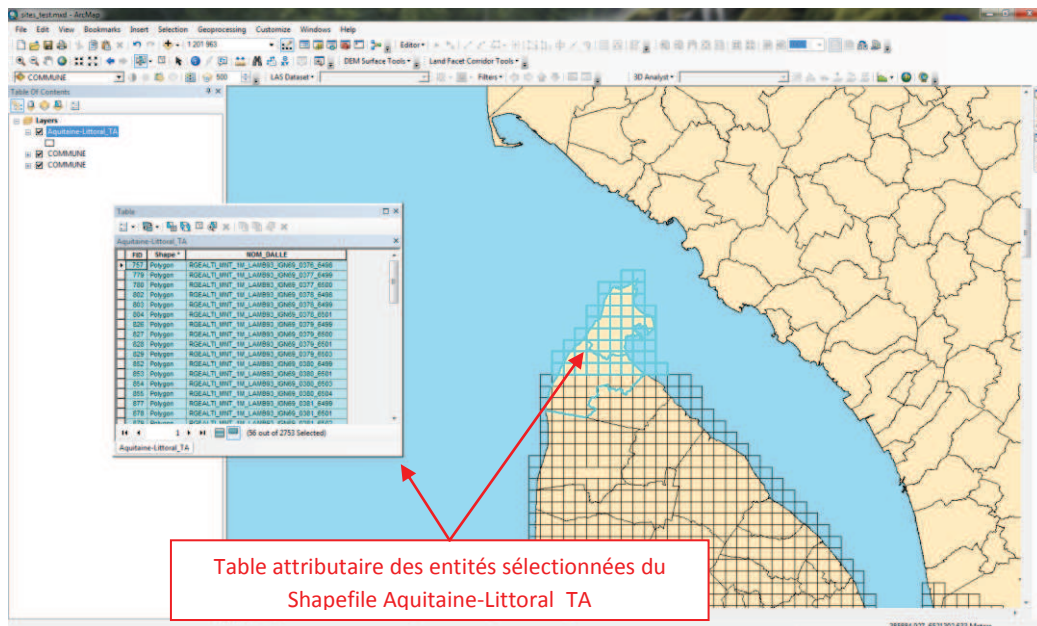


Toutes les entités des couches de la carte se trouvant dans la zone tracée à l'écran sont sélectionnées et mises en surbrillance.



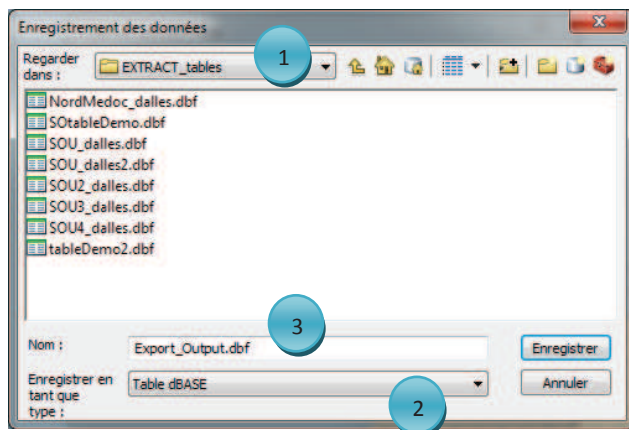
Les entités sélectionnées du Shapefile "Aquitaine_Littoral_TA" nous intéressent puisqu'elles contiennent, dans leurs informations attributaires, les noms des fichiers .asc à extraire.

3- Clic droit sur le Shapefile Aquitaine-Littoral_TA (dans Table des matières) > **Sélection** > **Ouvrir la table avec les entités sélectionnées**



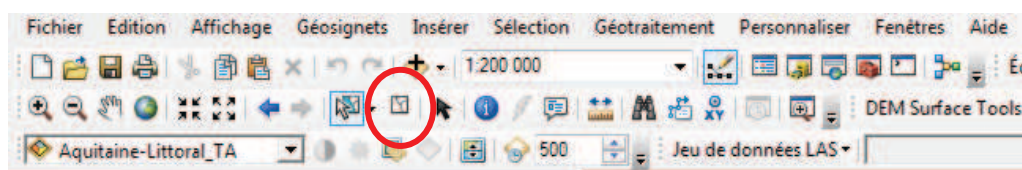
4- Dans la Tables des entités sélectionnées cliquer sur *Options de la table* > **Exporter**

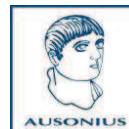
- Choisir l'**emplacement** de destination de l'export (1)
- Choisir le format de l'export : Table **dBASE** (.dbf) (2)
- **Nommer** le nouveau fichier .dbf (3)



Un fichier .dbf est ainsi créé, contenant la liste des noms des fichiers .asc d'une zone d'étude particulière. Cette liste peut être utilisée (via Spatial ETL Tool) pour extraire de leur dossier d'origine les fichiers répertoriés.

5- **Désélectionner** les entités sélectionnées :





Extraire les fichiers grâce à Spatial ETL Tool

Un outil Spatial ETL Tool nommé **extraction_RGEALTI** a été placé dans la Toolbox **ExtractData.tbx** (ordinateur UC245 de l'Institut Ausonius)

Vérifier que l'extension Data Interoperability est activée (Personnaliser > **Extensions...**)

Il existe 2 méthodes pour utiliser Spatial ETL Tool :

- 1- Utiliser l'outil via l'interface "Workbench"
- 2- Utiliser l'outil via l'interface "fenêtre d'outil ArcGIS"

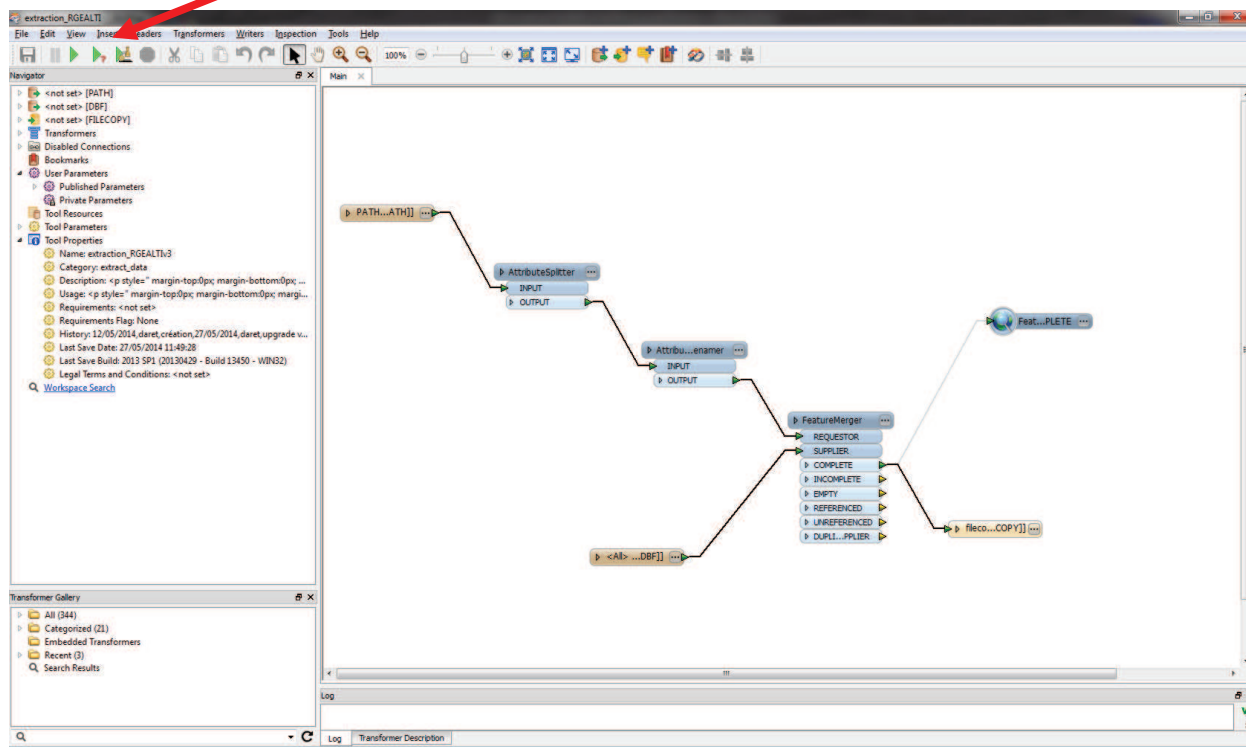
Pour des raisons de souplesse d'emploi et de confort d'utilisation, la méthode 1 est préconisée. La méthode 2 est néanmoins également détaillée dans ce document

Méthode 1 : Utiliser l'outil via l'interface "Workbench"

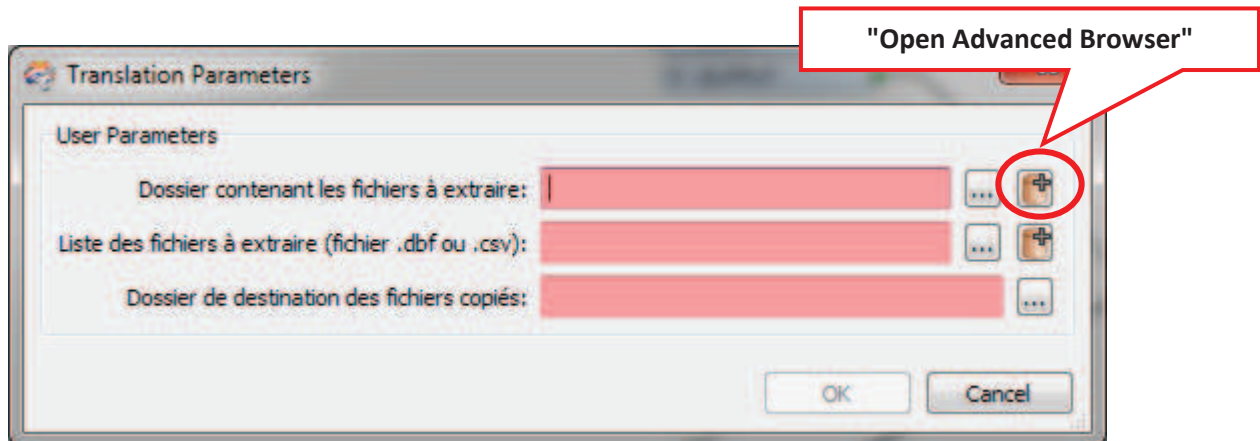
- 1- Dans ArcCatalog, clic droit sur **extraction_RGEALTI** > **Edit...**

L'extension Data Interoperability est alors automatiquement lancée et ouvre FME Workbench

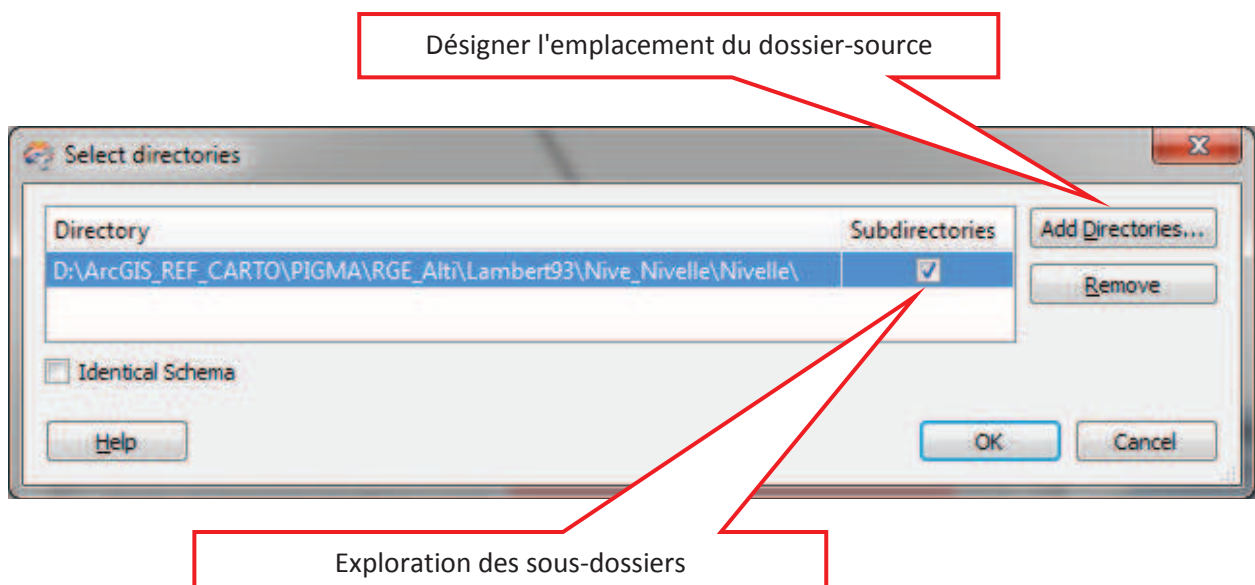
- 2- Cliquer sur la commande "**Prompt and Run Translation**"



3- Dans la fenêtre **Translation Parameters**, indiquer les 3 éléments demandés :



Pour la désignation du dossier contenant les fichiers à extraire, il faut avoir à l'esprit que des doublons de noms de fichiers sont présents dans le dossier RGE_Alti (car les secteurs géographiques couverts par les différents dossiers peuvent se chevaucher). Par conséquent, il n'est pas conseillé de désigner le dossier RGE_Alti comme dossier-source, mais de cibler plus précisément le dossier dans lequel se trouvent les fichiers à extraire (par ex. le dossier "Nivelle" voire encore plus précisément le sous-dossier ASC du dossier Nivelle). Si l'on ne désigne pas un sous-dossier "ASC", mais le dossier situé immédiatement "en amont de ce dernier" (par ex. le dossier "Nivelle"), il est conseillé d'utiliser l'icône **"Open Advanced Browser"**. Cette dernière permet de désigner le dossier-source et de préciser que les sous-dossier s'y trouvant doivent aussi être explorés :



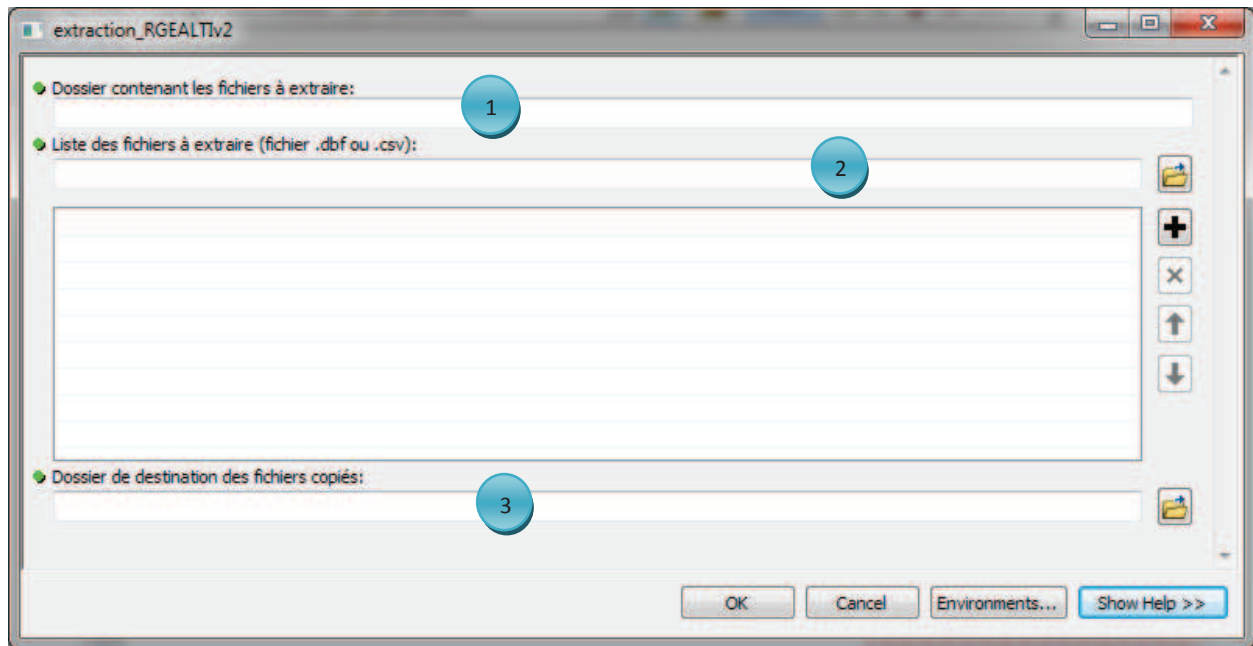
4 - Cliquer sur OK (fenêtre **Select directories**)

5 - Cliquer sur OK (fenêtre **Translation Parameters**)

Le processus de copie des fichiers s'exécute

Méthode 2 : Utiliser l'outil via l'interface "fenêtre d'outil ArcGIS"

1- Double clic sur **extraction_RGEALTIv2** : la fenêtre-utilisateur de l'outil apparaît



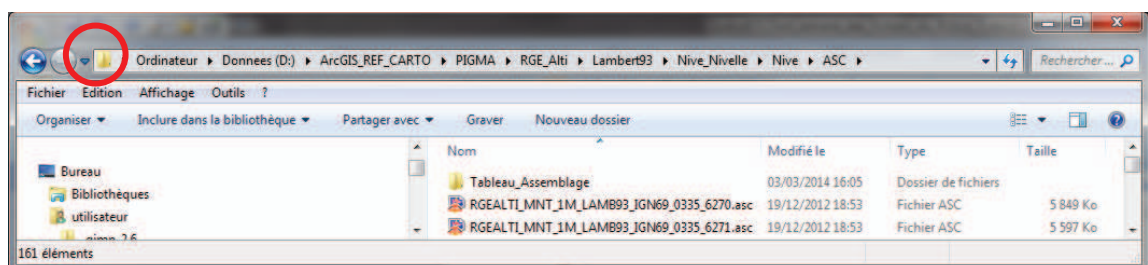
2- Renseigner tous les paramètres :

- (1) Le **dossier-source**. Les fonctionnalités de l'outil ne permettent pas d'offrir à l'utilisateur, depuis cette fenêtre, la possibilité d'ouvrir l'**explorateur Windows** afin de désigner le dossier-source. Par conséquent, le plus simple est de copier, dans l'explorateur Windows que l'on a ouvert en parallèle, le chemin d'accès au dossier, puis de le coller dans la fenêtre d'outil ArcGIS. Il est fortement conseillé de désigner le dossier précis dans lequel se trouvent les fichiers : les sous-dossier ASC figurant dans les dossiers des secteurs géographiques du RGE_Alti.

Le chemin d'accès doit donc être de ce type :

D:\ArcGIS_REF_CARTO\PIGMA\RGE_Alti\Lambert93\Nive_Nivelle\Nivelle\ASC

Le chemin d'accès s'obtient en cliquant sur l'icône de dossier de l'explorateur Windows





- (2) La **liste** (fichier .dbf voire .csv) des noms de fichiers à extraire
 - (3) L'**emplacement de destination** des fichiers copiés
- Cliquer sur **OK**

Remarques

Le Workbench a été paramétré pour "scanner" tout format de fichier. Par conséquent, des fichiers de format différents mais aux noms (c'est à dire tous les caractères figurant avant l'extension) identiques seront copiés. Si des fichiers .prj sont associés aux fichiers .asc, tous les fichiers seront ainsi copiés. Il en est de même pour les fichiers portant une "double extension" de type .aux.xml

Le Workbench de **extraction_RGEALTI** a été paramétré pour interdire l'écrasement de fichiers aux noms identiques. Si le cas de figure se présente, le processus de copie cessera automatiquement.



ANNEXE 4 : Temps de génération d'images construites à partir des MNT du RGE ALTI

Type de raster	Format	Codage pixel (bits)	Nombre de pixels (nombre de colonnes x nombre de lignes)	Taille (Mo)	Temps de génération (nom du logiciel utilisé entre parenthèses)
MNT	TIF	32	2000 x 2000	15.26	
Hillshade		8	2000 x 2000	3.81	< 1min (ArcGIS 10.2)
Composite Bands	TIF	8	2000 x 2000	11.44	< 1min (ArcGIS 10.2)
MDOW	GRID	32	2000 x 2000	15.26	< 1min (ArcGIS 10.2 + DEM Surface Tools)
	TIF (conversion depuis GRID)	32	2000 x 2000	15.26	
PCA	TIF	32	2000 x 2000	45.78	< 1min (Relief Visualization Toolbox)
		8	2000 x 2000	11.44	
SVF	TIF	32	2000 x 2000	15.26	< 1min (Relief Visualization Toolbox)
		8	2000 x 2000	3.81	
LRM	TIF	32	2000 x 2000	15.26	< 1min (Relief Visualization Toolbox)
		8	2000 x 2000	3.81	
Solar Radiation (x4 rasters : Global radiation + Diffuse radiation + Direct radiation + Direct duration)	TIF	32	2000 x 2000	15.26 (par raster)	40 min pour les 4 rasters ¹ (ArcGIS 10.2)
TPI	TIF	32	2000 x 2000	15.26	26 min (ArcGIS 10.2 + Land Facet Corridor Tools) ²
Slope	TIF	32	2000 x 2000	15.26	< 1min (ArcGIS 10.2)

¹ Avec les paramètres suivants : sky size = 200; calculation directions = 32. Il est possible de réduire le temps de génération à 20 min avec les paramètres suivants : sky size = 100; calculation directions = 8. La qualité de lecture de l'image et la détection d'éléments topographiques ou archéologiques ne semble pas altérées.

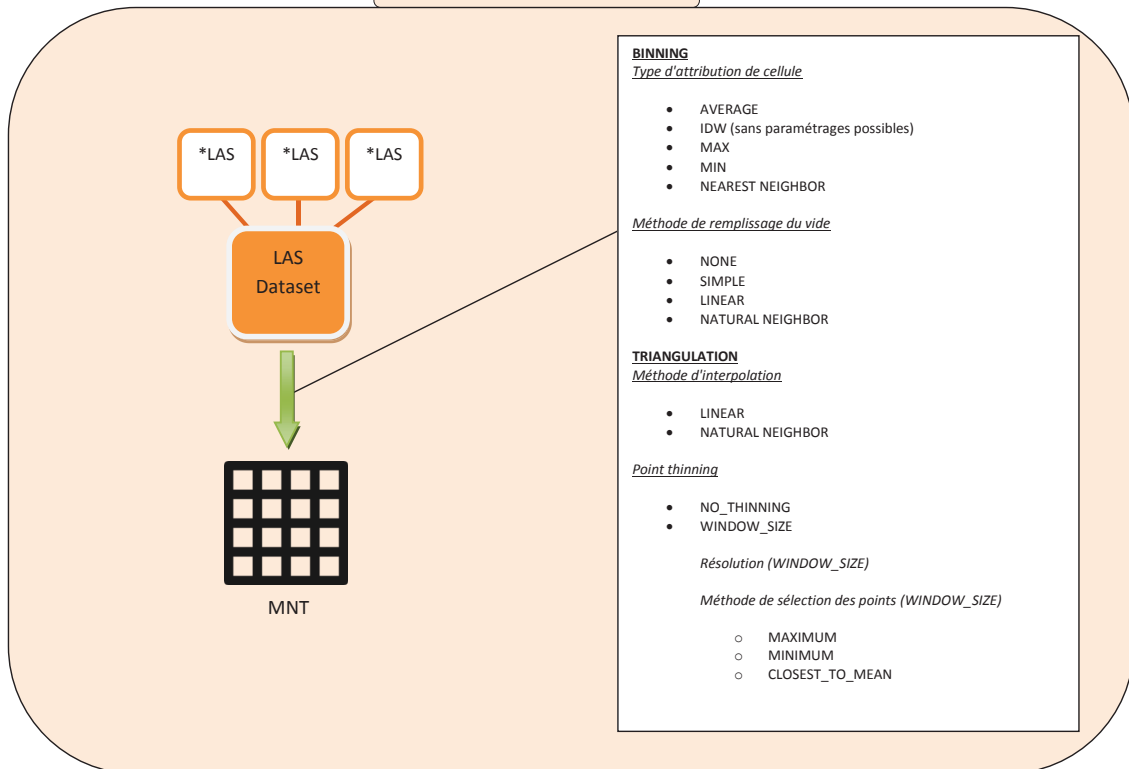
² Avec les paramètres suivants : neighborhood shape = "Circle"; Radius = 200 cells. Pour un MNT de 1000x1000 pixels, le même outil avec "Radius=500" : 44min19sec.

TOOLBOXES

CONVERSION TOOLS

VERS RASTER

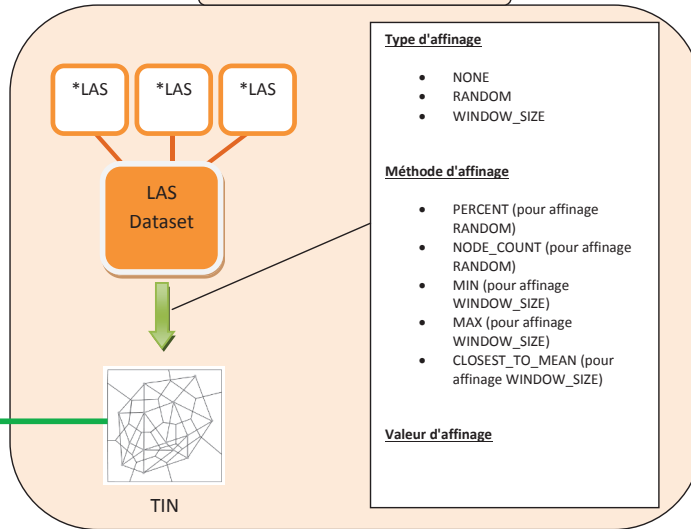
Jeu de données LAS vers raster



3D ANALYST TOOLS

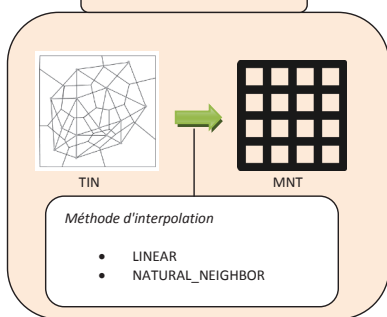
CONVERSION

Jeu de données LAS vers TIN

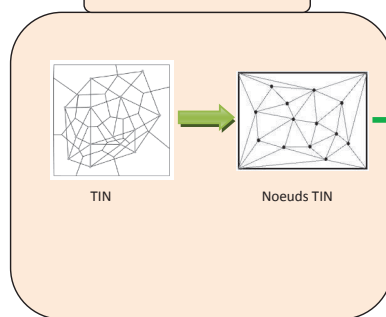


DEPUIS UN TIN

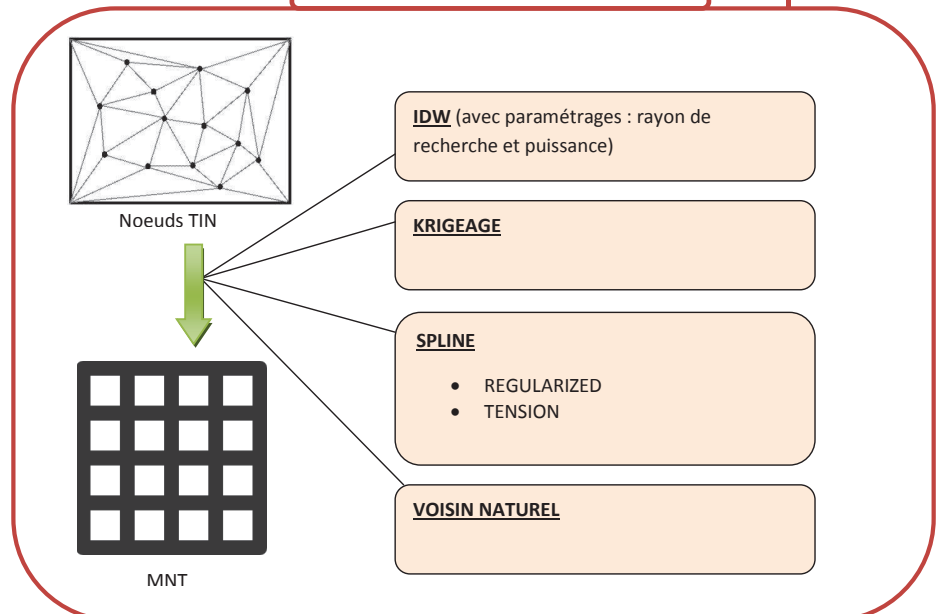
TIN vers Raster



Noeuds TIN



RASTER - INTERPOLATION





ANNEXE 6

PRODUCTION DE MNT A PARTIR DE FICHIERS .LAS INTERPOLATION METHODES D'INTERPOLATION



17/02/2014

Table des matières

INTERPOLATION SPATIALE : THEORIE	4
Définition	4
Diverses méthodes d' interpolation	5
Les méthodes déterministes locales	5
INTERPOLATION : MISE EN PRATIQUE DANS ARCGIS 10.2	7
→ Conversion Tools/ Vers Raster/Jeu de données LAS vers Raster.....	7
BINNING.....	8
TRIANGULATION.....	11
→ 3D Analyst Tools ou Spatial Analyst Tools	11
Rappel : Méthode d'interpolation IDW	11
Méthode d'interpolation SPLINE	13
Méthode d'interpolation" Krigeage"	14
Conclusion	17
Bibliographie.....	17
TABLE DES ILLUSTRATIONS	18



PRODUCTION DE MNT A PARTIR DE FICHIERS .LAS - INTERPOLATION - METHODES D'INTERPOLATION

Le projet LITAQ ¹, afin de réaliser ses objectifs, entend expérimenter l'emploi de référentiels topographiques encore peu utilisés, tels le produit RGE ALTI de l'IGN, modèle numérique de terrain (MNT) couvrant certaines zones de France métropolitaine. Certaines portions du MNT (le littoral et les lits des cours d'eau importants) sont construites à partir de "données LiDAR".

La technologie LiDAR (Light Detection And Ranging) permet un scannage de la surface du sol au moyen d'un dispositif émettant des rayons laser à haute fréquence (typiquement entre 100 000 et 150 000 pulsations laser par seconde). Dans le cas du RGE ALTI, il s'agit d'un appareil laser embarqué à bord d'un aéronef (LiDAR aéroporté). Le principe repose sur une mesure précise du temps de parcours de chaque rayon laser entre l'instant où il est émis et celui où il est réceptionné après qu'il ait percuté les obstacles rencontrés lors de sa course vers le sol. Le temps mesuré permet alors de calculer une distance entre la source d'émission du rayon laser (l'avion) et les objets percutés (le "sol"). Couplées aux informations du GPS et de la centrale inertielle de l'avion, les points d'impact laser au sol bénéficient de coordonnées géographiques et de données altimétriques. Ces données LiDAR sont généralement stockées sous forme de "nuages de points" dans des fichiers au format .LAS².

Grâce à une convention établie avec PIGMA³, l'Institut Ausonius, s'est porté acquéreur du RGE ALTI (région Aquitaine) en Juin 2013. Le produit RGE ALTI contient les fichiers .LAS de nuages de points (d'une emprise d'un km²) et pour chacun d'entre eux, le MNT "grille" construit par l'IGN au pas de 1 mètre (format ASCII).

L'intérêt des données LiDAR pour la recherche archéologique est significatif (OPITZ, COWLEY, 2013). La densité des points d'impact laser au sol du RGE ALTI (l'IGN visant au moins 1point/m²) permettant une modélisation de la surface du sol à des résolutions spatiales fines, une meilleure compréhension de la structure du paysage est possible. A plus grande échelle, la détection d'indices archéologiques est également envisageable. La détention des fichiers .LAS autorisant la production de MNT, il est aussi nécessaire d'évaluer la pertinence d'en construire à des résolutions spatiales inférieures au

¹ "Du pléistocène à l'anthropocène : connaître les mécanismes passés de l'évolution des populations (végétales, animales, humaines) et des milieux pour prédire les réponses futures. L'exemple du littoral aquitain (LITAQ)", porté par les LabEx COTE et LaScArBx, pour une durée de 15 mois (2013-2015)

² **Fichier .LAS** : format binaire de fichier spécifiquement conçu pour le stockage de données issues de mesures LiDAR. Il stocke les coordonnées géographiques et les valeurs d'altitude de chaque point d'impact laser au sol ainsi que les valeurs attributaires spécifiques à la technologie LiDAR (classification des points, intensité du signal etc.). Développé par l'American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), le format .LAS est "public", non soumis aux restrictions de propriété, lui assurant une bonne interopérabilité entre logiciels. Il est devenu le format d'échange standard des données issues de mesures LiDAR.

³ PIGMA : Plateforme d'Information Géographique Mutualisée en Aquitaine



mètre . Construire un MNT à partir des semi de points tels qu'ils se présentent dans les fichiers .LAS nécessite de choisir parmi un panel de techniques d'interpolation.

L'objet de ce document est de constituer un aide-mémoire sur les principales méthodes d'interpolation que l'on peut trouver dans un logiciel SIG tel qu'ArcGIS 10.2 (disposant des extensions adéquates et payantes "Spatial Analyst" et "3D Analyst") lorsque l'on souhaite entreprendre la construction d'un MNT à partir de fichiers .LAS. Les méthodes les plus couramment employées seront évoquées de manière très synthétique afin que le lecteur comprenne rapidement l'action des algorithmes mobilisés lors des interpolations et puissent éventuellement anticiper les résultats produits.

INTERPOLATION SPATIALE : THEORIE

Définition

"*Interpolation spatiale : procédure consistant à estimer la valeur d'une grandeur en un site, à partir d'échantillons de cette grandeur récoltés dans d'autres sites*" (Pierre BOSSER, *interpolation spatiale*, cours ENSG 2012-2013)

Le RGE ALTI ayant pour vocation de constituer un référentiel altimétrique, les fichiers .LAS qu'il met à disposition ne renferment que les points d'impact laser au sol représentant la surface du sol, débarrassée en outre d'éléments de surface tels que bâtiment ou ponts. Ces "nuages de points" ne sont toutefois qu'un amalgame de données indépendantes les unes des autres portant, entre autres informations, les coordonnées géographiques et l'altitude du point.

Afin de modéliser une surface continue à partir de ces points isolés, la conception d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) "raster" est une technique fréquemment employée. Elle génère une matrice formée de cellules carrées toutes identiques (pixels) chargées de porter les valeurs d'altitude permettant de représenter la surface du sol.

Schématiquement, il faut attribuer aux cellules du MNT les valeurs d'altitude stockées dans les fichiers .LAS.

Or les points présents dans les fichiers .LAS sont spatialement distribués de manière irrégulière. A chaque cellule du MNT, quelle que soit sa taille, ne correspondra donc pas un point unique du fichier .LAS.

De sorte que pour définir une valeur d'altitude pour une cellule du MNT il faudra **estimer** cette valeur à partir des valeurs

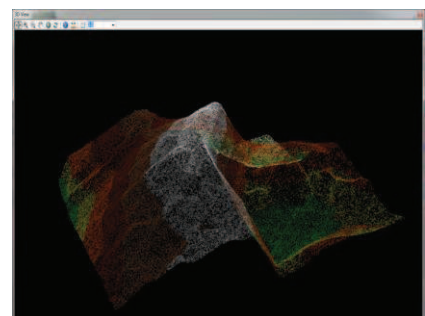


Figure 1 Nuage de points (vue 3D)



Figure 2 Nuage de points (vue 2D)

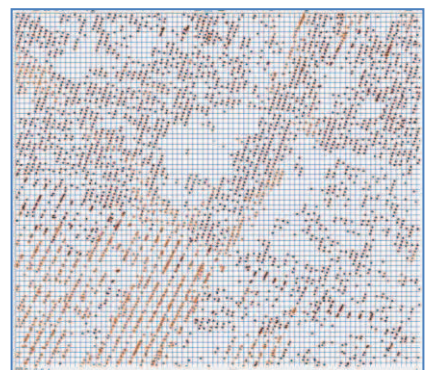


Figure 3 Superposition d'une matrice de pixels (1m) sur nuage de points



existantes portées par les points du fichier .LAS. L'interpolation est la méthode régissant cette estimation de valeur.

Lors de cette estimation, un certain nombre de valeurs environnantes vont être retenues. Puis un calcul lancé, par exemple une moyenne de ces valeurs. Il est fréquent qu'une pondération soit appliquée en fonction de la proximité des points connus et du point à estimer afin de privilégier les valeurs de ceux se situant au plus près du point à interpoler, en vertu du présupposé voulant que des éléments spatialement proches aient des valeurs assez semblables et que des éléments éloignés aient des valeurs dissemblables.

Diverses méthodes d'interpolation

Les méthodes d'interpolation sont fréquemment classées en deux grandes familles :

- **Les méthodes d'interpolation déterministes** : reposent sur des propriétés purement mathématiques et géométriques (comme la mesure des distances les séparant) entre les valeurs connues et celles à estimer. Elles ne permettent pas d'évaluer la précision des estimations.
- **Les méthodes d'interpolation géostatistiques** : reposent préalablement sur une analyse géostatistique des données visant à dégager leur organisation spatiale générale. Un "modèle" est alors préconisé et défini par une fonction mathématique. Cette dernière influera sur la méthode d'interpolation proprement dite (généralement la méthode par "kriégeage") afin de s'adapter au mieux à la structuration spatiale définie lors de l'analyse géostatistique. Ces méthodes permettent en outre de mesurer la précision des estimations.

Une méthode d'interpolation "**globale**" effectue généralement une moyenne arithmétique de toutes les valeurs de l'échantillon. L'estimation peut être représentative de la moyenne réelle si ces les valeurs sont réparties de manière homogène, ce qui est rarement le cas. Les zones sur-échantillonnées prennent alors trop d'importance et la moyenne n'est plus représentative. Pour contrecarrer cette tendance, les méthodes dites "**locales**" sont généralement préférées. Les estimations de valeurs portent alors successivement sur des aires beaucoup plus restreintes de la zone étudiée, voire sur un site ponctuel, comme celui d'une cellule d'un MNT. L'hétérogénéité dans la répartition spatiale des données de l'échantillon est alors mieux prise en considération, chaque interpolation réquisitionnant un certain nombre de valeurs existantes situées dans le voisinage plus ou moins proche de chaque site à estimer. Pour la modélisation d'une surface à partir d'un semi irrégulier de points, les méthodes d'estimation locales sont ainsi préférables.

Les méthodes déterministes locales

Ce sont les méthodes d'interpolation les plus simples et les plus fréquemment utilisées pour produire un MNT à partir d'un semis de points représentant des valeurs d'altitudes.

On peut classer ces dernières en trois groupes :

- Les méthodes effectuant un **partitionnement préalable de l'espace** au moyen d'une triangulation de Delaunay (voir ci-après). Ces dernières produisent dans un premier temps un



TIN (Triangulated Irregular Network) représentant une surface constituée de triangles dont les sommets sont les points de l'échantillon (les points des fichiers .LAS par exemple). Les valeurs à estimer sont alors calculées à l'intérieur de ce réseau de triangles en utilisant le plus souvent une interpolation linéaire n'impliquant dans le calcul qu'un nombre limité de valeurs situées à proximité immédiate de la valeur à interpoler (les sommets du triangle dans lequel elle se trouve).

- Les méthodes n'effectuant pas un partitionnement préalable de l'espace. On trouve ici des **méthodes barycentriques** qui évaluent seulement des distances entre les valeurs de l'échantillon et celles à interpoler; ces dernières étant généralement le résultat d'une moyenne pondérée des valeurs sélectionnées. Elles permettent d'impliquer dans le calcul d'interpolation un plus grand nombre de valeurs.
- Les **splines**, appartenant à une famille de fonctions mathématiques particulières, cherchent à reproduire le comportement d'une "feuille" d'un matériau plus ou moins souple que l'on forcerait à passer par les points de l'échantillon ou à proximité de ces points, tout en ajustant la courbure générale de la "feuille"(en la minimisant au maximum : lissage de la surface).

Méthodes d'interpolation déterministes		
Avec partitionnement préalable de l'espace	Sans partitionnement préalable de l'espace	
	Méthodes barycentriques	Splines
<i>Interpolation linéaire</i>	<i>IDW</i>	<i>Regularized Spline</i>
<i>Voisin naturel</i>	<i>Interpolation bilinéaire</i>	<i>Tension Spline</i>

Toutes les méthodes d'interpolation évoquées peuvent également être classées en deux groupes :

- Les interpolations **exactes** conservent les valeurs des échantillons originaux
- Les interpolations **non-exactes** ne conservent pas les valeurs des échantillons originaux

Triangulation de Delaunay et Polygones de Thiessen

La triangulation de Delaunay d'un ensemble de points crée un réseau de triangles dont les sommets sont les points de l'échantillon. Les triangles sont construits en privilégiant systématiquement la configuration maximisant le plus petit angle de chaque triangle (afin d'éviter la formation de triangles fins et étirés). Le réseau ainsi créé permet de modéliser une surface continue à partir d'un ensemble de points indépendants.

Les médiatrices des triangles de la triangulation de Delaunay, forment un deuxième réseau de polygones dits de Thiessen ou de Voronoï. Chaque polygone est constitué autour d'un sommet de triangle. Chaque médiatrice constitue une arête de polygone. Tout point situé à l'intérieur d'un de ces polygones sera toujours plus proche du sommet du triangle correspondant à ce polygone que de tout autre sommet de triangle du réseau.

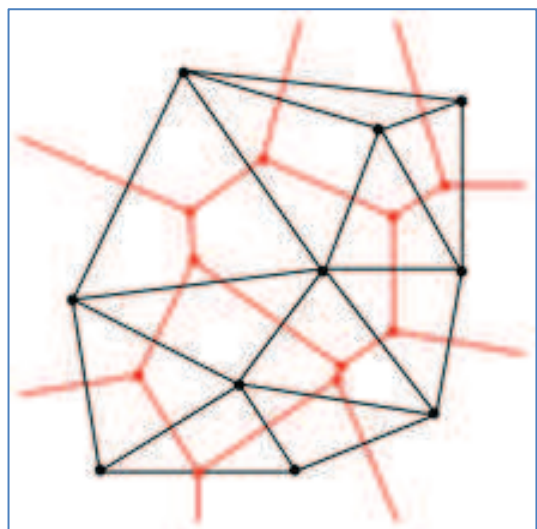


Figure 4 En noir : triangulation de Delaunay. En rouge : polygones de Thiessen construits à partir des médiatrices des triangles (image wikipedia)



INTERPOLATION : MISE EN PRATIQUE DANS ARCGIS 10.2

Dans ArcGIS 10.2, plusieurs fichiers .LAS couvrant une zone d'étude peuvent être regroupés dans un jeu de données unique : le LAS Dataset, destiné à faciliter la manipulation de plusieurs fichiers.LAS en même temps.

Produire un MNT à partir d'un LAS Dataset peut être accompli, dans ArcGIS 10.2, en empruntant une des deux voies d'accès possibles de deux "ToolBoxes" :

- **Conversion Tools/ Vers Raster/ Jeu de données LAS vers Raster**
- **3D Analyst Tools/Conversion ou Spatial Analyst/Conversion** (les outils sont les mêmes)

(voir diagramme)

Chacune de ces voies d'accès au MNT est jalonnée d'étapes au cours desquelles il est possible de choisir entre plusieurs méthodes d'interpolation.

La section suivante se propose de répertorier ces méthodes et de fournir pour chacune une brève explication des traitements qu'elle effectue.

→ Conversion Tools/ Vers Raster/ Jeu de données LAS vers Raster

L'outil "**Jeu de données LAS vers Raster**" permet de produire très rapidement un MNT à partir d'un LAS Dataset. Il offre la possibilité de choisir entre deux grands types d'interpolation : "BINNING" et "TRIANGULATION". Chacun d'entre eux offrant en outre la possibilité de définir une méthode d'interpolation particulière régissant les calculs des valeurs d'altitude à attribuer aux cellules du MNT qui sera produit.

Pour la méthode IDW, cet outil ne permet pas de paramétrer finement l'algorithme d'interpolation et on ne connaît pas les réglages utilisés par le logiciel. Pour avoir une plus grande maîtrise sur la production d'un MNT avec cette méthode, il faut utiliser plusieurs outils de la Toolbox **3D Analyst** (voir plus loin + diagramme).

TYPE D'INTERPOLATION					
BINNING		TRIANGULATION			
Type d'attribution de cellule	Méthode de remplissage de vide	Méthode d'interpolation	Type d'affinage de point	Méthode de sélection des points	Résolution de la fenêtre de sélection des points
AVERAGE (= moyenne) IDW MAXIMUM MINIMUM NEAREST	NONE ⁴ SIMPLE LINEAR NATURAL_NEIGHBOR (= voisin naturel)	LINEAR NATURAL_NEIGHBOR	NO_THINNING WINDOW_SIZE	MAXIMUM MINIMUM CLOSEST_TO_MEAN	Valeur numérique définissant la taille de la fenêtre de sélection (ex. : 1 mètre)

⁴ L'absence d'attribution de valeur à une cellule du MNT classe cette dernière avec la valeur NoData

BINNING

Le type d'interpolation "binning" consiste à superposer la matrice de cellules du futur MNT sur les points du fichier .LAS puis à sélectionner certains points pour ne retenir que celui ou ceux dont la valeur d'altitude sera finalement attribuée à chaque cellule du MNT. Ce processus de sélection "binning" signifie "mettre au rebue") s'effectue au moyen de différentes méthodes d'interpolation (mention "Type d'attribution de cellule" dans ArcGIS, voir tableau précédent). Dans le cas où aucun point n'est compris dans la cellule, d'autres méthodes d'interpolation sont proposées par le logiciel (mention "Méthode de remplissage de vide" dans ArcGIS, voir tableau précédent) pour estimer la valeur que portera la cellule.

Afin d'accélérer les temps de calcul, le logiciel offre la possibilité de ne pas prendre en compte la totalité des points du LAS Dataset. Ce processus de réduction ("thinning") du nombre de valeurs impliquées dans l'interpolation exige de définir la taille d'une "fenêtre" qui parcourra la totalité du nuage de points et procédera à une sélection d'un certain nombre de valeurs pour ne retenir que les plus fortes, les plus faibles ou celle s'approchant le plus de la moyenne des valeurs comprises dans le périmètre de la "fenêtre". Cette perte d'information ne semble pas compatible avec les exigences de production d'un MNT capable de représenter le plus précisément possible la surface du sol.

Type d'attribution de cellule

- **AVERAGE** : la valeur retenue est une moyenne des valeurs des points inclus dans le périmètre de la cellule
- **MAXIMUM** : la valeur retenue est la plus grande des valeurs situées dans le périmètre d'une cellule
- **MINIMUM** : la valeur retenue est la plus petite des valeurs situées dans le périmètre d'une cellule
- **NEAREST** : la valeur retenue est la plus proche du centre de la cellule
- **IDW** : la valeur retenue est calculée selon la méthode d'interpolation IDW : "Inverse Distance Weighted" (voir ci-après)



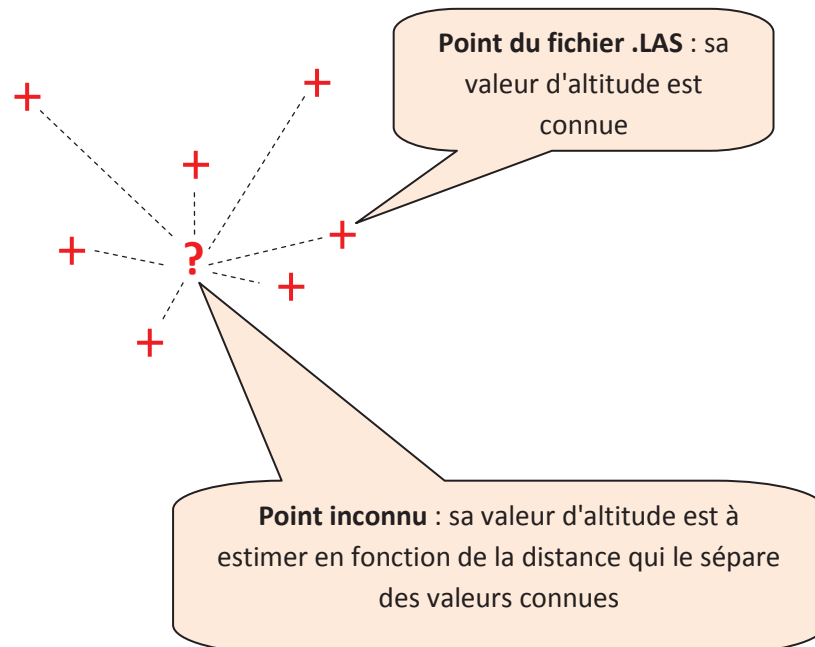
Figure 5 Binning : les valeurs des points situés dans la zone d'une cellule déterminent la valeur de la cellule



Méthode d'interpolation IDW

Pour estimer la valeur d'un point inconnu, la méthode IDW sélectionne et examine des points connus situés dans le voisinage du point à interpoler. Une moyenne de ces valeurs est calculée et pondérée selon la distance séparant les points connus et le point à estimer. Plus la distance est faible, plus la pondération est forte afin d'affecter, dans le calcul de la moyenne, un poids supérieur aux points situés à proximité de l'emplacement à estimer. On suppose en effet que des emplacements proches sur le plan spatial auront des valeurs (d'altitude par exemple) proches et que la dissemblance des valeurs aura tendance à augmenter avec la distance.

Dans le cas du "binning", le point à estimer est le centre d'une cellule du futur MNT.



Méthode de remplissage de vide

Dans le cadre du "binning", il peut se présenter des cas où, lors de la superposition de la matrice de cellules sur les points du LAS Dataset, certaines cellules ne recouvrent aucun point.

Plusieurs méthodes sont proposées pour estimer les valeurs de ces cellules ("Méthode de remplissage de vide" dans ArcGIS).

NONE : aucune interpolation ne sera lancée. La valeur de la cellule sera NoData

SIMPLE : les huit cellules autour de la cellule à interpoler sont examinées et une moyenne des valeurs qui s'y trouvent est calculée puis attribuée à la cellule.

LINEAR : une triangulation de Delaunay est construite automatiquement dans un premier temps. La matrice de cellules du futur MNT y est superposée. Les valeurs des cellules ne contenant pas de points sont estimées à l'aide d'interpolations linéaires dans les triangles du TIN (Triangulated Irregular Network) formé lors de la triangulation de Delaunay.

NATURAL_NEIGHBOR (voisin naturel) : méthode d'interpolation qui dans un premier temps partitionne l'espace contenant le semi de points de l'échantillon en polygones de Thiessen. Puis un deuxième partitionnement en polygones de Thiessen est réalisé avec pour base, cette fois-ci, les points à estimer (par exemple les centre des cellules d'une grille raster). Les zones de recouvrement entre les deux réseaux de polygones déterminent les valeurs à prendre en compte dans les interpolations. Les surfaces de recouvrement déterminent la pondération à apporter dans le calcul de la moyenne des valeurs retenues. Plus ces surfaces sont importantes, plus la pondération des valeurs des points des polygones de Thiessen correspondants sera forte.

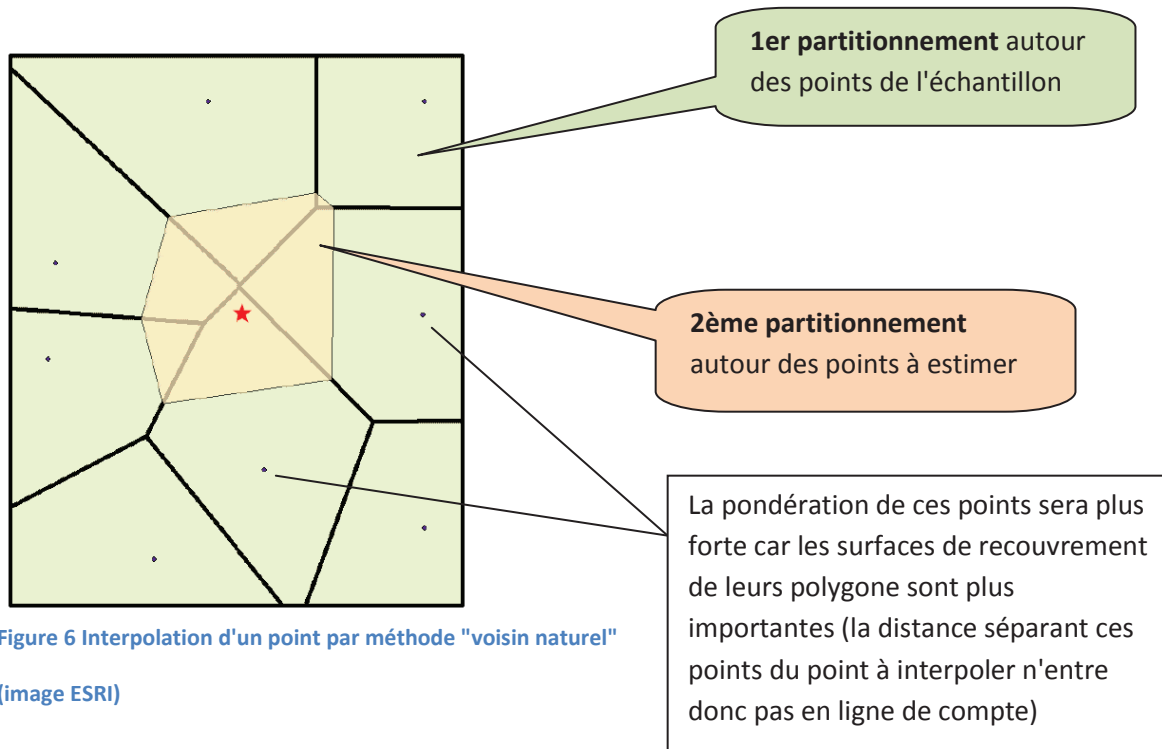


Figure 6 Interpolation d'un point par méthode "voisin naturel"

(image ESRI)



TRIANGULATION

Le type d'interpolation "triangulation" s'effectue en deux étapes :

1. Une triangulation de Delaunay est réalisée sur le semis de points du LAS Dataset.
2. La matrice de cellules du futur MNT est superposée à la triangulation, ce qui permet de calculer les valeurs des cellules selon deux méthodes d'interpolation : LINEAR ou NATURAL_NEIGHBOR (voir précédemment)

→ 3D Analyst Tools ou Spatial Analyst Tools

L'outil LAS Dataset To Raster permet de générer rapidement un MNT, mais n'offre pas la possibilité de modifier précisément les paramètres de l'interpolation IDW. L'étendue du rayon de recherche ou le nombre de valeurs à prendre en compte au sein de ce dernier dans l'estimation d'une valeur inconnue sont déterminés par le logiciel, sans que l'on connaisse les paramètres retenus.

Il est néanmoins possible de remédier à ces limitations en utilisant les outils de la **ToolBox 3D Analyst** (ou **Spatial Analyst**). Ces derniers permettent en outre d'utiliser deux méthodes d'interpolation fréquemment employées : la méthode spline et le krigeage.

Utiliser les outils de cette ToolBox ne permet pas de manipuler directement les fichiers .LAS qu'ils soient groupés ou non en LAS Dataset. La construction d'un MNT s'appuiera sur un fichier SHAPE d'entités ponctuelles représentant exactement les points présents dans les fichiers .LAS (voir diagramme).

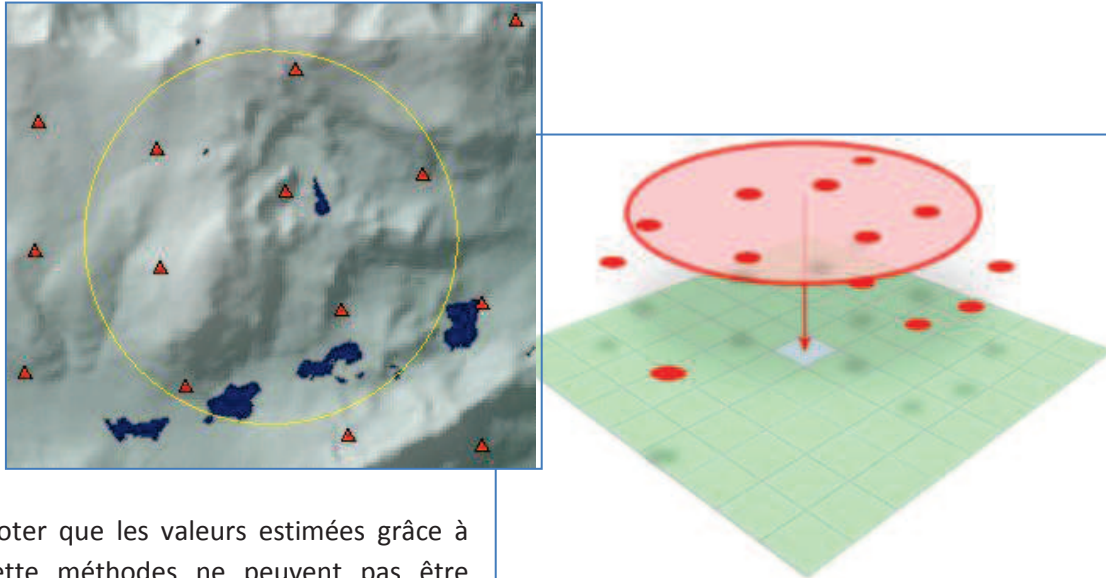
Les principes d'interpolation restent évidemment les mêmes, à la différence que des paramètres supplémentaires sont disponibles pour la méthode IDW. Ils concernent :

- les dimensions du rayon de recherche des valeurs impliquées dans les calculs d'interpolation
- le nombre maximal de valeurs à prendre en considération dans le rayon de recherche
- la puissance de pondération de la distance

Rappel : Méthode d'interpolation IDW

Pour estimer la valeur d'un point inconnu, la méthode IDW sélectionne et examine des points connus situés dans le voisinage du point à interpoler. Ces points sont sélectionnés au moyen d'un rayon de recherche dont on peut définir la dimension.

Une moyenne des valeurs retenues dans le périmètre de recherche est calculée et pondérée selon une **puissance** de la distance (notée p) séparant les points connus et le point à estimer. Plus la distance est faible, plus la pondération est forte afin d'affecter, dans le calcul de la moyenne, un poids supérieur aux points les plus proches de l'emplacement à estimer. L'utilisateur peut faire varier p . "*Quand p tend vers 0, les poids [des valeurs concernées] deviennent égaux et l'estimation converge vers la moyenne arithmétique des valeurs retenues. Quand p tend vers l'infini, l'estimation [...] attribue tout le poids au site le plus proche*" (ARNAUD, EMERY 2000)



Noter que les valeurs estimées grâce à cette méthodes ne peuvent pas être supérieures aux valeurs maximales ni inférieures aux valeurs minimales des points connus de la zone étudiée. Les

Figure 7 Interpolation IDW : rayon de recherche pour sélectionner les valeurs connues participant à l'estimation d'une valeur inconnue (images ESRI)

figures suivantes illustrent cette caractéristique. La courbe représente les valeurs d'altitude du MNT produit après interpolation. Les points sont les valeurs connues ayant servies à l'interpolation. Avec la méthode IDW, la courbe ne dépasse jamais les valeurs maximales ou minimales. Avec d'autres méthodes, telles que spline ou krigeage, des valeurs interpolées peuvent dépasser les valeurs maximales ou minimales des valeurs de l'échantillon de points.

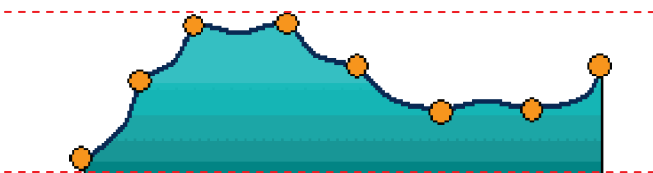


Figure 8 Interpolation spline : les valeurs estimées peuvent dépasser les valeurs maximales ou minimales de l'échantillon (image ESRI)

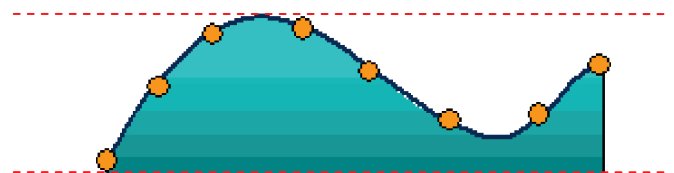


Figure 9 Interpolation IDW : les valeurs estimées ne dépassent pas les valeurs minimales et maximales de l'échantillon (image ESRI)

Utiliser les outils des ToolBox **3D Analyst** ou **Spatial Analyst** permet en outre d'appliquer des méthodes d'interpolation indisponibles dans l'outil "LAS Dataset To Raster" : les méthodes "spline" et le "Krigage"

Méthode d'interpolation SPLINE

Les surfaces "spline" sont des modèles mathématiques permettant de créer une représentation continue (surface) d'un ensemble discret de points d'un espace.

On pourrait associer leur comportement à celui d'une feuille d'un matériau plus ou moins souple que l'on forcerait à passer par certains points (ou à proximité de ces points).

Contrairement à d'autres méthodes d'interpolation (IDW par exemple), la méthode spline n'estime pas une valeur en calculant la moyenne de valeurs connues environnantes, mais en appliquant une fonction mathématique spécifique créant une surface passant par ou à proximité des points connus, calculée à partir d'un certain nombre de points environnants et déterminant sa courbure générale au moyen de contraintes d'ajustement : la tension et le lissage.

Contrairement à la méthode IDW, les valeurs estimées par la méthode spline peuvent être supérieures ou inférieures aux valeurs maximales et minimales des points connus utilisés dans l'interpolation.

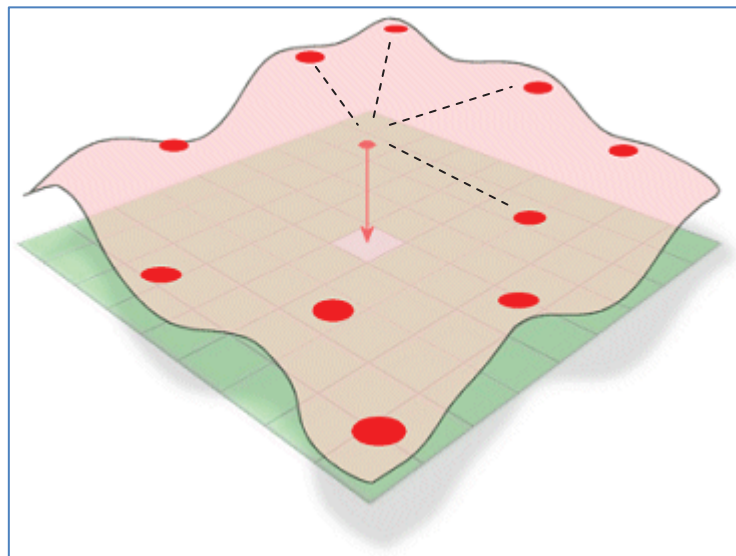


Figure 10 Interpolation par spline (image ESRI)



Dans l'outil **3D Analyst Tools**/Raster - Interpolation/Spline, deux types d'interpolation par méthode spline sont proposés⁵ :

- **TENSION** : les valeurs estimées sont contraintes de rester le plus proche possible des valeurs connues utilisées dans l'interpolation. La surface produite adopte le comportement d'un matériau plutôt rigide.
- **REGULARIZED** : les valeurs estimées sont moins contraintes de rester proches des valeurs connues impliquées dans l'interpolation. La surface produite adopte le comportement d'un matériau plus souple.

Pour chaque type d'interpolation spline, il est possible de faire varier deux paramètres affectant le résultat final :

- **POIDS** : désigne la valeur de la pondération appliquée lors des calculs.
 - Pour le type TENSION spline, plus la pondération est forte, plus l'élasticité de la surface augmente (la rigidité diminue). Les valeurs de pondération doivent être égales ou supérieures à 0 (selon la documentation ESRI, les pondérations de 0, 1, 5 et 10 sont les plus fréquemment utilisées).
 - Pour le type REGULARIZED spline, plus la pondération est forte, plus le lissage général de la surface est important. Les valeurs de pondération doivent être égales ou supérieures à 0 (selon la documentation ESRI, les pondérations de 0, 0.001, 0.01, 0.1 et 0.5 sont les plus fréquemment utilisées).
- **NOMBRE DE POINTS** : désigne le nombre de points connus de l'échantillon participant à l'interpolation. Plus ce nombre est important, plus des points connus distants du site à estimer seront impliqués dans le calcul, contribuant à produire une surface plus lissée.

Méthode d'interpolation "Krigage"

Le "Krigage"⁶ est une méthode d'interpolation géostatistique. Elle fait précéder les calculs d'interpolation proprement dit d'une analyse statistique des données de l'échantillon de base.

L'objectif de cette **analyse géostatistique** préalable est de quantifier et représenter par un **modèle** (une fonction mathématique représentée par une courbe) l'organisation spatiale générale des données que l'on souhaite utiliser (autocorrélation spatiale).

L'autocorrélation spatiale des données va donc définir un certain type de modèle (5 types de modèles dans ArcGIS 10.2). Ce modèle va influencer les calculs d'interpolation. Le principe étant

⁵ Ces deux types d'interpolation sont issus d'une famille d'algorithmes développés par Lubos MITAS et Helena MITASOVA sous le nom de *Regularised Spline with Tension (RST)* et implémentés dans GRASS dès 1995. Les méthodes "*Tension Spline*" et "*Regularized Spline*" présentées dans ArcGIS sont des formes individualisées de paramètres particuliers de la méthode RST.

⁶ Du nom de l'ingénieur minier sud-africain D. G. KRIGE (1919 - 2013) qui dans les années 50 développa une série de méthodes statistiques empiriques afin de déterminer la répartition de minerais à partir de mesures issues de forages. La théorie du "krigeage" sera formalisée par l'ingénieur français Georges MATHERON (1930 - 2000) dans les années 60.

d'ajuster le plus finement ces calculs à l'autocorrélation spatiale dégagée par l'analyse géostatistique, afin de produire la représentation surfacique la plus juste possible du phénomène étudié.

Le krigeage étudie les valeurs voisines d'un site à estimer et applique une pondération, mais cette dernière ne prend pas seulement en compte la distance (cas de la méthode IDW), mais également l'organisation spatiale des données entre elles (par exemple les angles formés par les droites joignant les points).

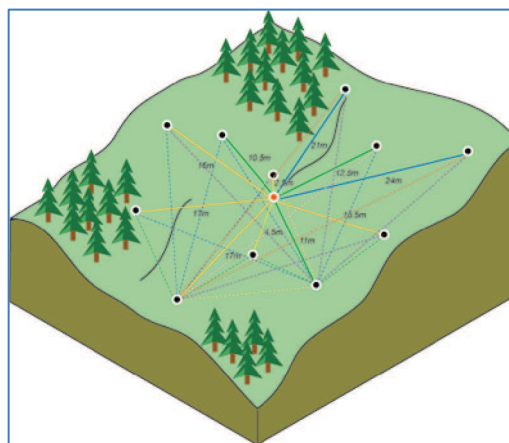


Figure 11 Krigeage : étude de tous les appariements possibles d'un point de l'échantillon (image ESRI)

Avec le krigeage, l'analyse géostatistique préalable aux calculs d'interpolation débute par la création automatique d'un variogramme (ou semi-variogramme) dont la fonction est de mesurer le degré de "dissemblance" entre toutes les combinaisons possibles de 2 points connus (ARNAUD, EMERY 2000, p.122). La méthode krigeage évalue en effet **tous** les appariements possibles entre tous les points de l'échantillon de base. En observant les caractéristiques de toutes ces paires de points, l'objectif est de décrire, grâce à l'établissement d'un variogramme(ou semi-variogramme), l'organisation de la distribution spatiale des données.

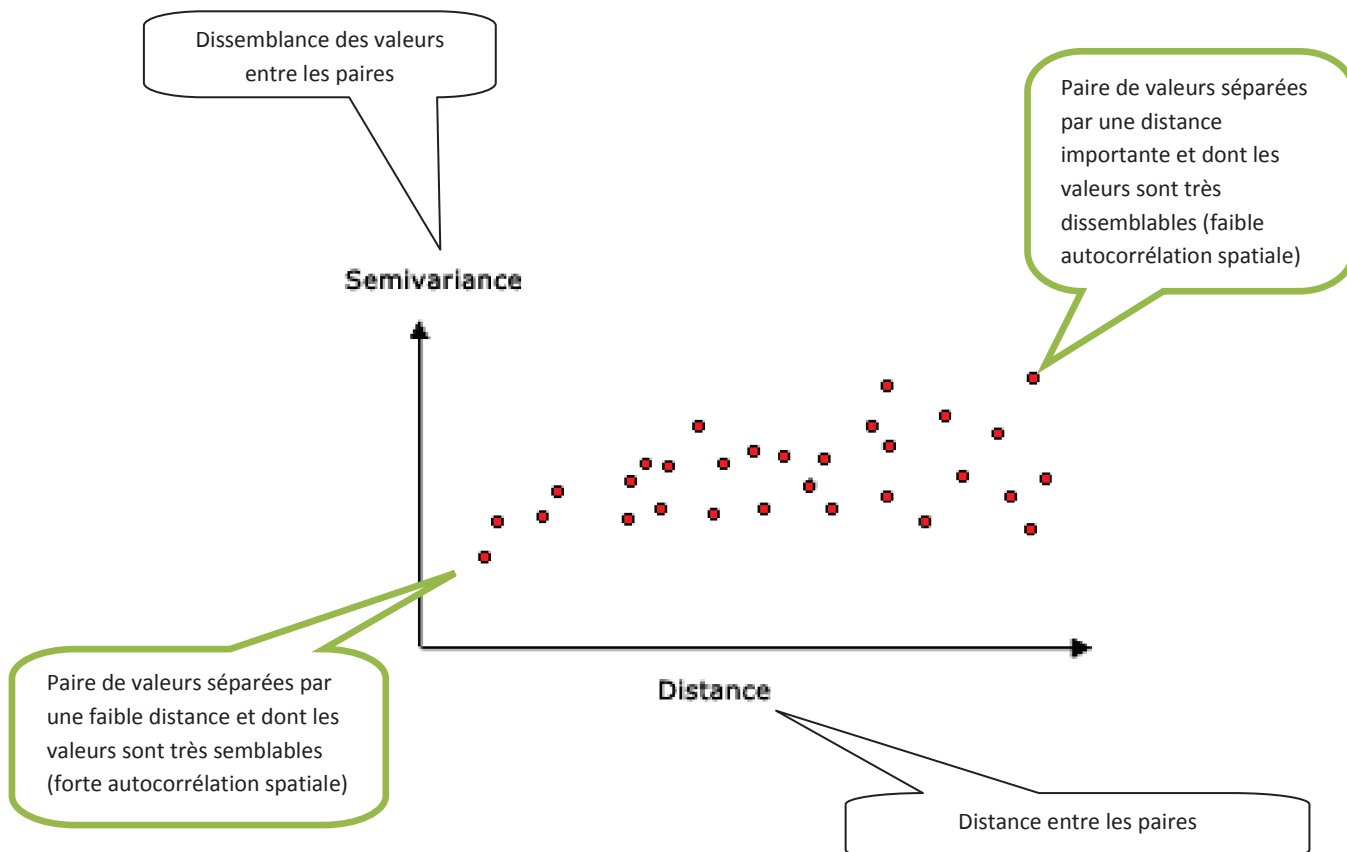


Figure 12 Krigeage : analyse variographique (image ESRI)



L'analyse variographique permet de déterminer un modèle pour le variogramme : la meilleure fonction mathématique en adéquation avec la structure spatiale des données décrite par le variogramme.

En fonction du modèle choisi, les calculs d'interpolation diffèreront (plus précisément, les valeurs de pondération seront ajustées) et les valeurs estimées changeront. D'une manière générale, plus la

courbe du modèle décline près de l'origine du variogramme, plus la pondération selon la distance sera forte et privilégiera donc les valeurs les plus proches du site à estimer.

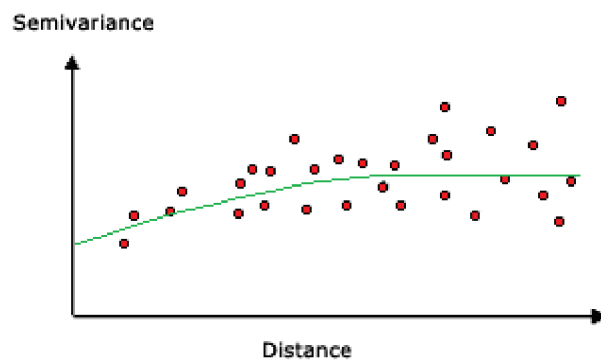


Figure 13 Krigeage : modèle du semi-variogramme (image ESRI)

L'outil **3D Analyst**/Raster - Interpolation/Krigeage propose 2 types de krigeage :

→ Krigeage **ORDINAIRE** : ne présuppose pas d'anisotropie⁷ dans la structuration spatiale des données de base.

- 5 modèles de semi-variogramme sont disponibles :
 - ✓ Sphérique
 - ✓ Circulaire
 - ✓ Exponentiel
 - ✓ Gaussien
 - ✓ Linéaire

→ Krigeage **UNIVERSEL** : présuppose l'anisotropie dans la structuration spatiale des données de base et implique l'utilisation de modèles spécifiques :

- ✓ Linéaire avec dérive linéaire
- ✓ Linéaire avec dérive quadratique

L'usage du krigeage requiert donc une très bonne compréhension des outils géostatistiques, ainsi qu'une grande connaissance du phénomène étudié.

⁷ Propriété d'un phénomène présentant une direction (un nuage de pollution aura une direction provoquée par l'orientation du souffle du vent par exemple)



Conclusion

Dans ce document, nous avons cherché à résumer les méthodes les plus "directes" de création de MNT à partir de fichiers .LAS regroupés en LAS Dataset dans ArcGIS 10.2 et de décrire brièvement les choix d'interpolation se présentant à l'utilisateur.

La méthode la plus directe utilise la Toolbox "**Conversion**" et l'outil "Jeu de données LAS vers raster". Une méthode moins directe consiste dans un premier temps à convertir les points des fichiers .LAS en entités ponctuelles dans des fichiers .shp (Toolboxes **3D Analyst** ou **Spatial Analyst**), puis, dans un deuxième temps, utiliser les outils d'interpolation de ces mêmes Toolboxes pour produire des MNT. Cette voie permet d'accéder à deux nouvelles méthodes d'interpolation fréquemment utilisées (spline et krigage) et de paramétrer plus finement les réglages de la méthode IDW.

IDW, spline et le krigage sont fréquemment cités dans la littérature comme les techniques d'interpolation employées lors de la construction de MNT raster. Le krigage est une technique complexe préconisée par certains auteurs lors de tests expérimentaux sur de petits jeux de données (cf. LLOYD, ATKINSON 2002 et LLOYD, ATKINSON 2002). Son niveau de précision dans l'estimation de valeurs paraît supérieur à celui atteint par les autres techniques. Et cela semble d'autant plus vrai lorsque le nombre de valeurs connues dans l'échantillon de base est faible. Toutefois, les grandes ressources informatiques qu'il requiert peuvent être handicapantes dans le traitement de grands jeux de données (les temps de traitements peuvent être extrêmement longs). De sorte que IDW et spline sont des méthodes encore fréquemment employées car jugées efficaces en nombre de cas, malgré un certain nombre d'artefacts produits (cf. ROUSSEAU 2006).

Il est à noter qu'une fois en possession des fichiers .shp créés à partir des points lidar des fichiers .las, d'autres méthodes d'interpolation plus complexes sont accessibles dans la Toolbox "**Geostatistical Analyst**". Cette dernière permet en outre de pousser encore plus loin la finesse des réglages des paramètres d'interpolation des méthodes IDW, Spline et krigage.

Bibliographie

- ARNAUD Michel, EMERY Xavier, *Estimation et interpolation spatiale. Méthodes déterministes et méthodes géostatistiques*, Hermès, Paris, 2000
- BOSSER Pierre, *Interpolation spatiale*, cours de l'ENSG 2011-2012
- LLOYD Christofer D., ATKINSON Peter M., " Non-stationary Approaches for Mapping Terrain and Assessing Prediction Uncertainty", *Transactions in GIS*, 2002, 6(1) : 17-30
- LLOYD Christofer D., ATKINSON Peter M., "Deriving DSMs from lidar data with kriging", *International Journal of Remote Sensing*, 2002, vol.23, n°12, 2519-2524
- OPITZ Rachel S., COWLEY David C., *Interpreting archaeological topography : laser, 3D data, visualisation and applications*, Oxbow Books, Oxford, 2013
- ROUSSEAU Frédéric, "Caractérisation d'erreurs sur un modèle numérique de terrain en fonction de zones morphologiques", *Bulletin d'information scientifique et technique de l'IGN*, 2006/1

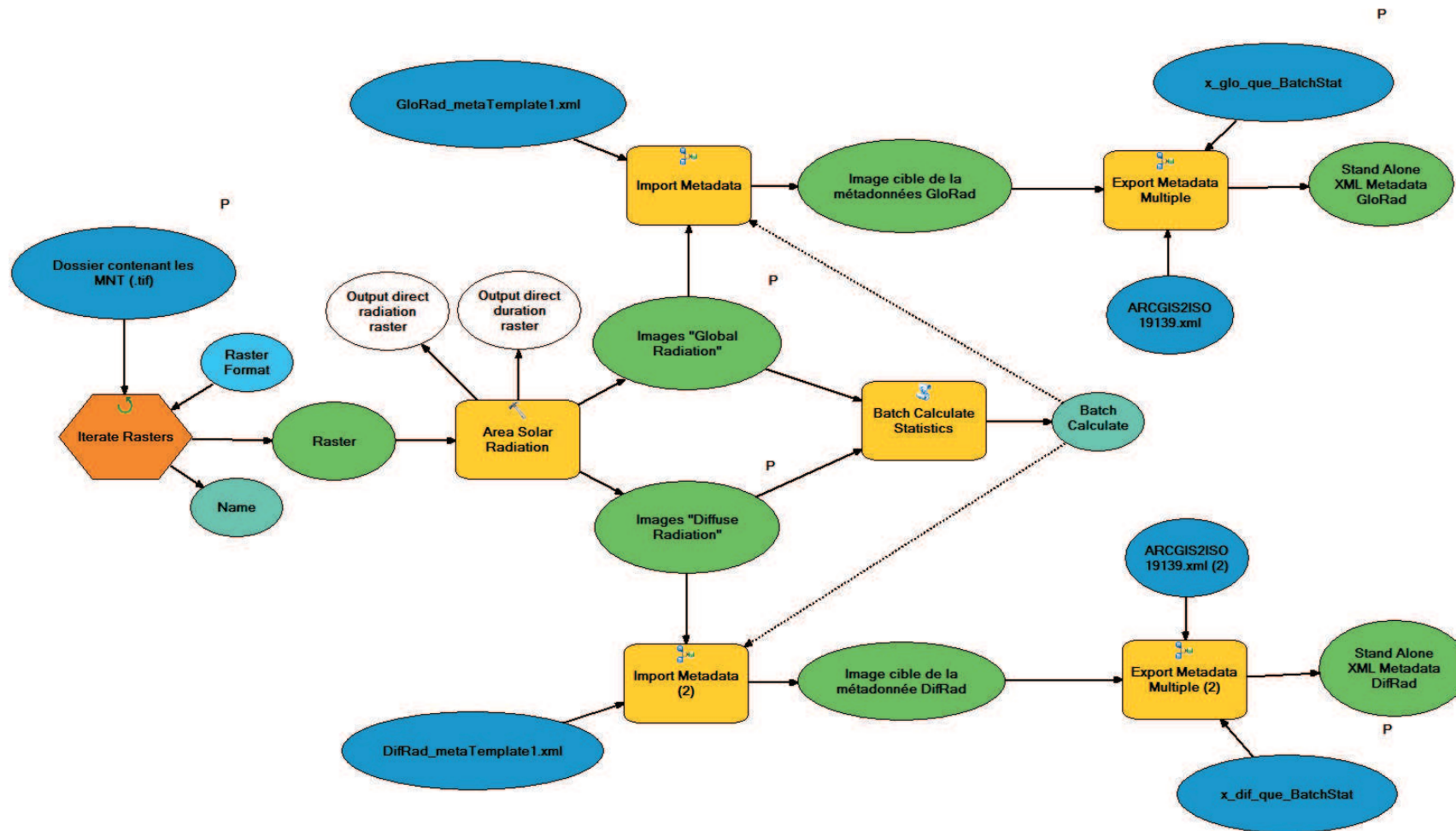


TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 Nuage de points (vue 3D)	4
Figure 2 Nuage de points (vue 2D)	4
Figure 3 Superposition d'une matrice de pixels (1m) sur nuage de points.....	4
Figure 4 En noir : triangulation de Delaunay. En rouge : polygones de Thiessen construits à partir des médiatrices des triangles.....	6
Figure 5 Binning : les valeurs des points situés dans la zone d'une cellule déterminent la valeur de la cellule	8
Figure 6 Interpolation d'un point par méthode "voisin naturel"	10
Figure 7 Interpolation IDW : rayon de recherche pour sélectionner les valeurs connues participant à l'estimation d'une valeur inconnue.....	12
Figure 8 Interpolation spline : les valeurs estimées peuvent dépasser les valeurs maximales ou minimales de l'échantillon	12
Figure 9 Interpolation IDW : les valeurs estimées ne dépassent pas les valeurs minimales et maximales de l'échantillon.....	12
Figure 10 Interpolation par spline	13
Figure 11 Krigeage : étude de tous les appariements possibles d'un point de l'échantillon (image ESRI)	15
Figure 12 Krigeage : analyse variographique	15
Figure 13 Krigeage : modèle du semi-variogramme	16



ANNEXE 7 : Model Builder de production des images « rayonnement solaire global » et « rayonnement solaire diffus », ainsi que leur fiches de métadonnées



ANNEXE 8 : Créer une mosaïque virtuelle de rasters (Mosaic Dataset) dans ArcGIS

Logiciels : ArcGIS 10.2

Plateforme : Windows 7 pro 64 bits

Par le terme "Mosaïque", ArcGIS désigne un assemblage de rasters ne donnant pas lieu à la création "physique" d'un nouveau raster. Une Mosaïque assemble donc "virtuellement" des rasters et les affiche dans ArcMap comme s'il s'agissait d'une seule et même image. La Mosaïque est un "container" qui ne stocke pas réellement des rasters mais référence les chemins d'accès vers ces derniers. C'est l'équivalent du "Raster Virtuel" de QGIS.

Créer une Géodatabase Fichier dans ArcCatalog

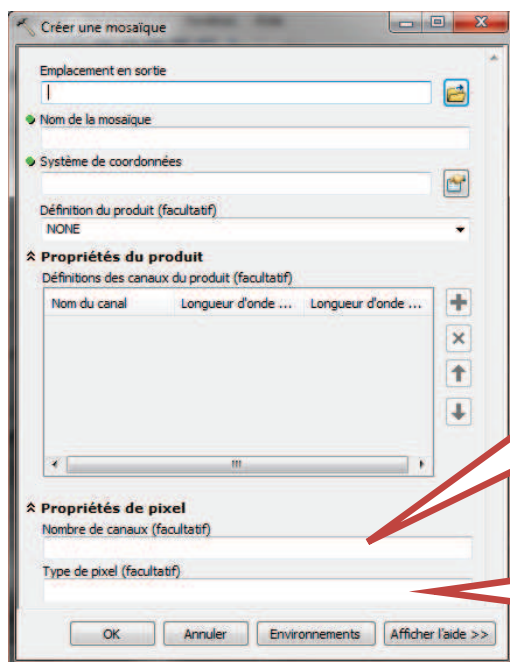
Une Mosaïque est obligatoirement stockée dans une Géodatabase.

1 - Dans le *Catalogue* et sur un dossier de son choix : Clic droit > **Nouveau** > *Géodatabase fichier*

Créer une Mosaïque dans ArcCatalog

Il est fortement recommandé de créer une Mosaïque par type de produit et donc de rasters, de manière à paramétrer correctement certaines propriétés de la mosaïque dès sa création (type de pixel et système spatial de référence).

2 - Dans *ArcCatalog* et sur la Géodatabase fichier créée précédemment : Clic droit > **Nouveau** > *Mosaïque...*



Si le **nombre de canaux** n'est pas renseigné, c'est celui des premiers rasters intégrés à la Mosaïque qui sera pris comme référence pour toute la Mosaïque.

Il est fortement conseillé de ne placer dans une Mosaïque que des rasters appartenant au même produit (MNT du RGEALTI par ex.) ayant ainsi tous le même nombre de canaux.

Si le **type de pixel** n'est pas renseigné c'est celui des premiers rasters intégrés à la Mosaïque qui sera pris comme référence pour toute la Mosaïque. Ce paramètre ne pourra pas être modifié par la suite. Il sera ainsi impossible d'intégrer des pixels de 32 bits dans une Mosaïque où les premiers rasters intégrés étaient de type 8 bits.

Il paraît donc plus prudent de spécifier ce paramètre à **32_BIT_FLOAT**



3- Renseigner les paramètres

4- Cliquer sur **OK**

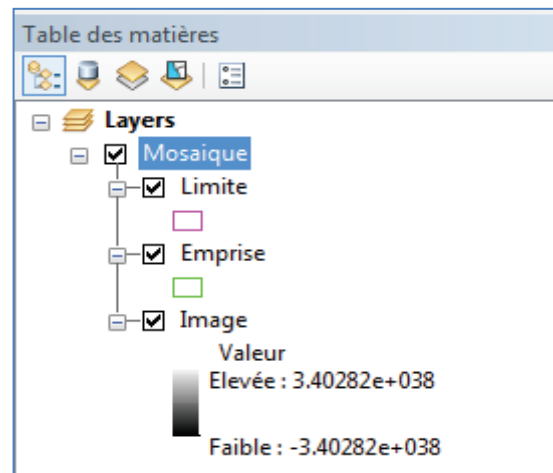
La Mosaïque est ajoutée automatiquement dans la Géodatabase et affichée en tant que couche dans la table des matières d'ArcMap.

Une Mosaïque se compose de 3 éléments :

a - L'élément "Limite", l'équivalent d'un Shapefile (avec sa table attributaire) représentant les limites extérieures de l'emprise formée par l'ensemble des rasters de la Mosaïque

b- L'élément "Emprise", l'équivalent d'un Shapefile (avec sa table attributaire) représentant les limites de chaque raster présent dans la Mosaïque

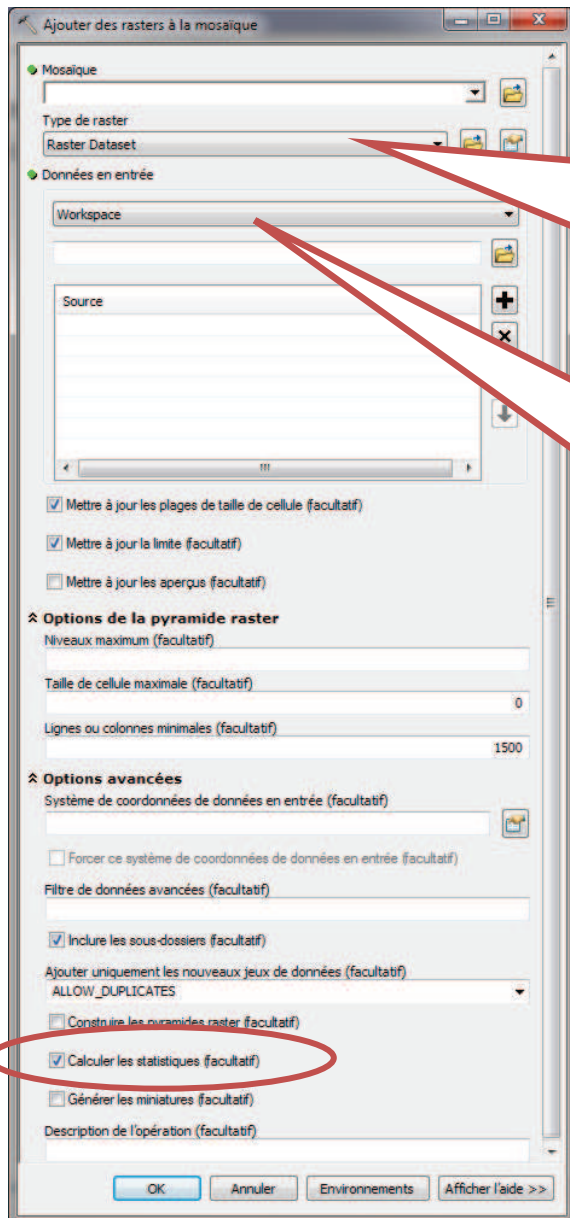
c - L'élément "Image" qui affiche les rasters référencés par la Mosaïque. C'est l'équivalent d'une image raster "classique"



Ajouter des rasters à la Mosaïque dans ArcCatalog

5 - Dans le Catalogue : Clic droit sur la **Mosaïque** > *Ajouter des rasters...*

6 - Renseigner les paramètres :



Si les rasters n'appartiennent pas à un type de produit très précis (ex. IKONOS), indiquer "**Raster Dataset**".
Si l'on souhaite intégrer des rasters .tif dans la Mosaïque, seuls les .tif seront assemblés mais pas leurs fichiers annexes s'il en possèdent (statistiques par ex.)

3 options possibles pour sélectionner les rasters à intégrer à la Mosaïque:
- **Workspace** : permet de désigner un dossier contenant les rasters à intégrer dans la Mosaïque
- **Dataset** : permet de sélectionner individuellement chaque raster
- **File** : (déconseillé par ESRI)

7 - Cliquer sur **OK**

La Mosaïque s'affiche automatiquement dans la Table des matières d'ArcMap.



A ce stade, la Mosaïque n'affiche que des dalles grises car :

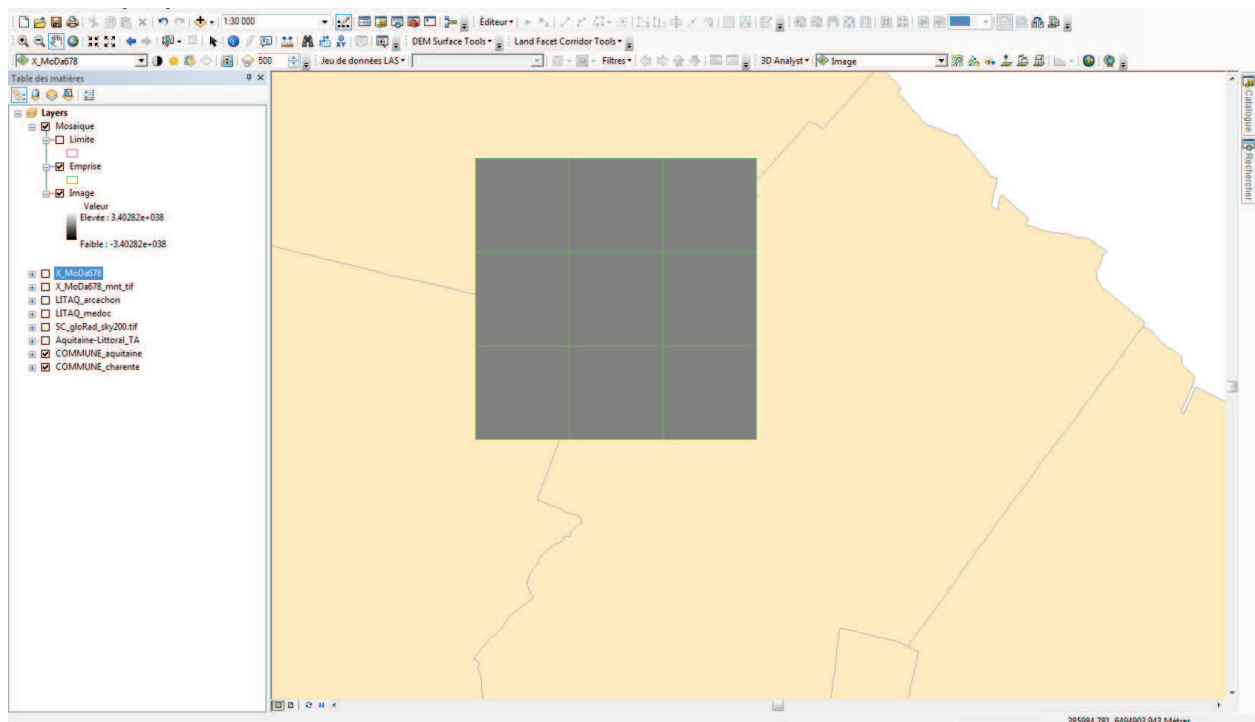
a - Les statistiques n'ont pas été calculées au niveau de la Mosaïque entière.

Par ailleurs, la visualisation de la mosaïque est affectée car :

b - La Mosaïque ne comporte pas d'aperçus ou vues d'ensemble (Overviews) : au-delà de l'échelle 1/30 000, la Mosaïque n'est plus affichée

c - La Mosaïque n'affiche par défaut que 20 rasters : même si plus de 20 rasters ont été incorporés, seuls 20 seront affichés

d - Aucune méthode de "mosaïquage" n'a été définie : il peut en résulter un affichage "excentré" des rasters (en périphérie de l'écran).



Il est donc nécessaire de modifier certains paramètres de la Mosaïque.

PARAMETRER LA VISUALISATION DES RASTERS DE LA MOSAÏQUE DANS ARCMAP

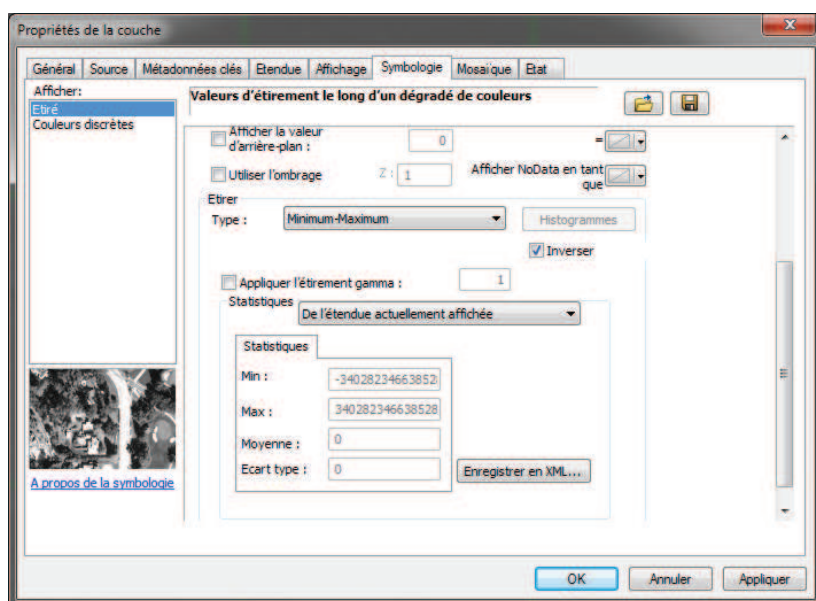
Visualiser les rasters

Etant donné que les statistiques n'ont pas encore été calculées au niveau de la Mosaïque mais seulement au niveau de chaque raster, ces derniers s'affichent "spontanément" en teinte grise monochrome.

Pour y remédier rapidement, il faut agir sur la symbologie de l'élément "Image" de la Mosaïque.

8- Double cliquer sur l'élément "Image" de la **Mosaïque** > onglet **Symbologie** > dans la partie **Statistiques**, choisir "*De l'étendue actuellement affichée*" > dans la partie **Étirer**, choisir le type d'étirement souhaité

9-Cliquer sur **OK**



Ce réglage n'est évidemment que provisoire, il sera perdu si on supprime la Mosaïque de la Table des matières (à moins d'enregistrer la Mosaïque dans un .mxd).

Par contre, si les statistiques sont calculées au niveau de la Mosaïque entière, elles seront enregistrées de manière permanente comme propriétés de la Mosaïque.

Il existe un outil permettant de détecter de tels "défauts" pouvant handicaper la manipulation de la Mosaïque et d'appliquer les corrections appropriées : l'outil Analyser une Mosaïque.

Il est ainsi possible de calculer les statistiques de la Mosaïque entière et de créer les aperçus ("Tuiles")

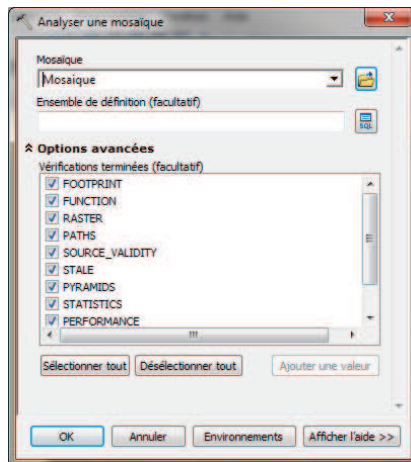


Calculer les statistiques de la Mosaïque dans ArcMap

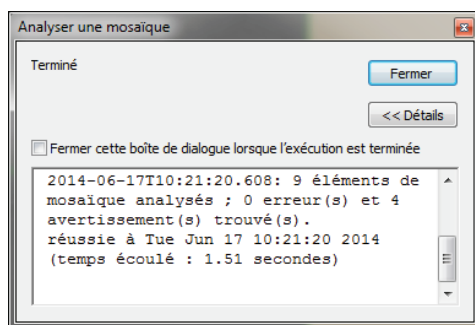
10- Cliquer droit sur la Mosaïque dans la **Table des matières** > *Données* > *Analyser une mosaïque...*

11- Dans la fenêtre "**Analyser une mosaïque**", sélectionner tous les éléments à vérifier

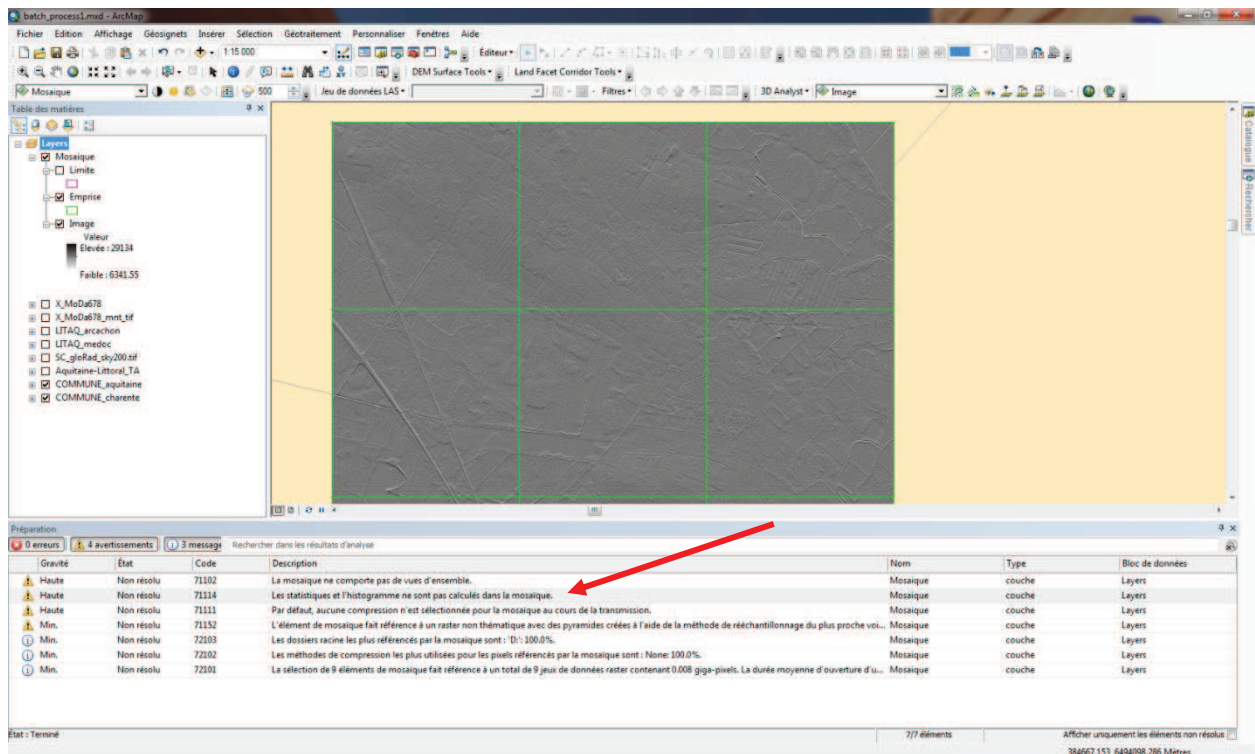
12- Cliquer sur **OK**



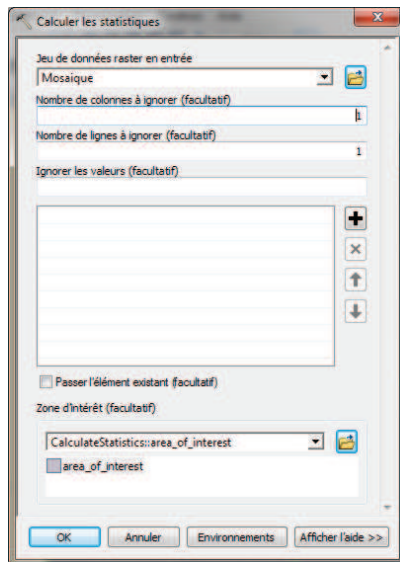
13- Dans la fenêtre de log "**Analyser une mosaïque**" (qui s'ouvre automatiquement) > cliquer sur **Fermer**



14- Dans la fenêtre "**Préparation**" (qui s'ouvre automatiquement dans ArcMap) > double clic sur "*Les statistiques et l'histogramme ne sont pas calculés dans la mosaïque*"

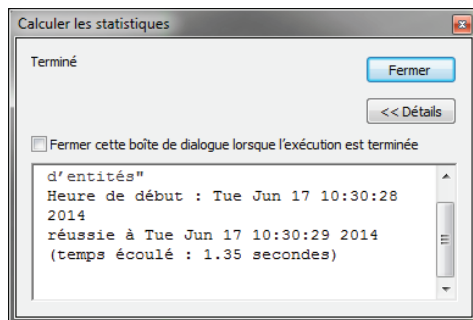


15- Dans la fenêtre **Calculer les statistiques** qui s'est automatiquement ouverte > laisser les paramètres par défaut



16- Cliquer sur **OK**

17- Dans la fenêtre de log "**Calculer les statistiques**" > cliquer sur *Fermer*



Pour actualiser véritablement le calcul de statistiques ("rafraîchir" la Mosaïque), il est parfois nécessaire de retirer la Mosaïque de la table des matières d'ArcMap (**Clic droit** sur la Mosaïque > **Supprimer**) puis de la réimporter

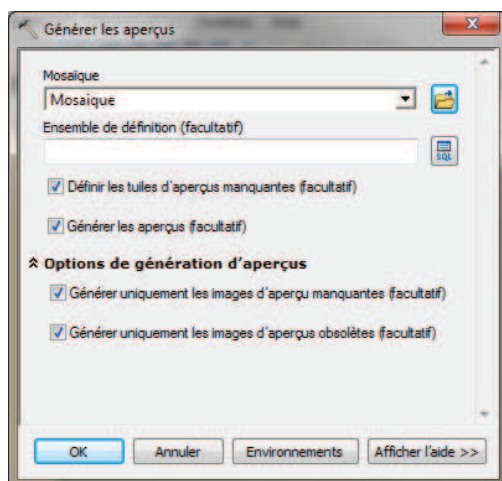
Créer des aperçus (Overviews) dans Arcmap

Les aperçus ou "tuiles" sont des images rasters créées en supplément, à des résolutions moins fines que les rasters de la mosaïque et permettant un affichage plus rapide et à de très petites échelles. Concrètement, si l'on veut que la Mosaïque s'affiche au-delà de 1/30 000, il faut construire des aperçus. Il est possible de les construire via l'outil *Analyser une Mosaïque*

18- Réaliser les étapes 10, 11, 12 et 13.

19- Dans la fenêtre "**Préparation**" qui s'est automatiquement ouverte dans ArcMap > double clic sur "*La mosaïque ne comporte pas de vues d'ensemble*"

20- Dans la fenêtre **Générer les aperçus** qui s'est automatiquement ouverte > laisser les paramètres par défaut



21- Cliquer sur **OK**

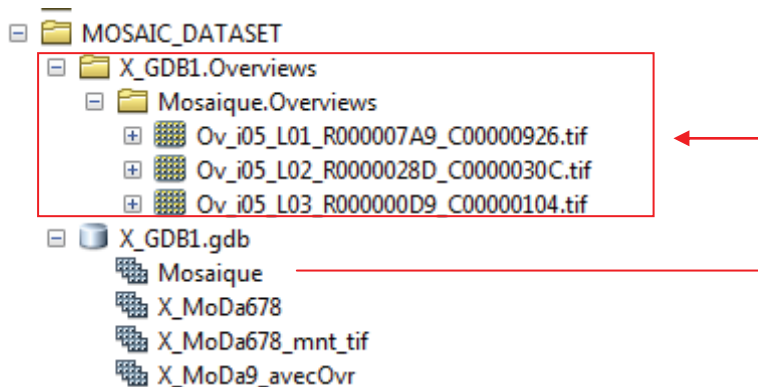
22- Dans la fenêtre de log "*Générer les aperçus*" > cliquer sur *Fermer*



Note : il est possible que la fenêtre d'erreur comporte un message avertissant de l'échec de l'opération. Dans ce cas, la solution est de fermer ArcMap, de le rouvrir puis de recommencer le processus de production des aperçus soit avec à l'outil "Analyser une mosaïque" décrit ci-dessus, soit avec l'outil "Générer les aperçus" (Data Management Tools > Raster > Mosaïque > Générer les aperçus) .

Les aperçus sont des rasters placés dans un dossier portant le nom de la Mosaïque et l'extension .Overviews

Ce dossier est lui-même placé dans un dossier portant le nom de la géodatabase stockant la Mosaïque.



Définir le nombre de rasters à afficher dans ArcMap

Une Mosaïque peut stocker plusieurs centaines de rasters, mais par défaut, elle n'en affiche que 20 à la fois à l'écran. Il est toutefois possible de modifier ce quota :

23- Dans *ArcCatalog* : clic droit sur la **Mosaïque** > *Propriétés...*> onglet "*Valeurs par défaut*" > propriété "*Nombre maximum de raster par mosaïque*"

24- Modifier la valeur par défaut directement dans le tableau

Définir la méthode de "mosaïquage" dans ArcMap

La méthode de "mosaïquage" définit le point de l'écran autour duquel seront assemblés les rasters de la Mosaïque. La plus "naturelle" semble être celle affichant les rasters au centre de l'écran ("*Closest To Center*") :

25- Dans le Catalogue : clic droit sur la **Mosaïque** > *Propriétés...*> onglet "*Valeurs par défaut*"

26- Dans la propriété "**Méthode de mosaïquage autorisées**" > cliquer sur le bouton des options

27- Dans la fenêtre "**Configurer la liste des autorisations**", ne cocher que "*Closest To Center*"

28- Cliquer sur **OK**



ANNEXE 9 : Créer des services WMS, WFS et WCS avec QGIS SERVER

Logiciels : QGIS SERVER 2.4, QGIS 2.4, LizMap Web Client

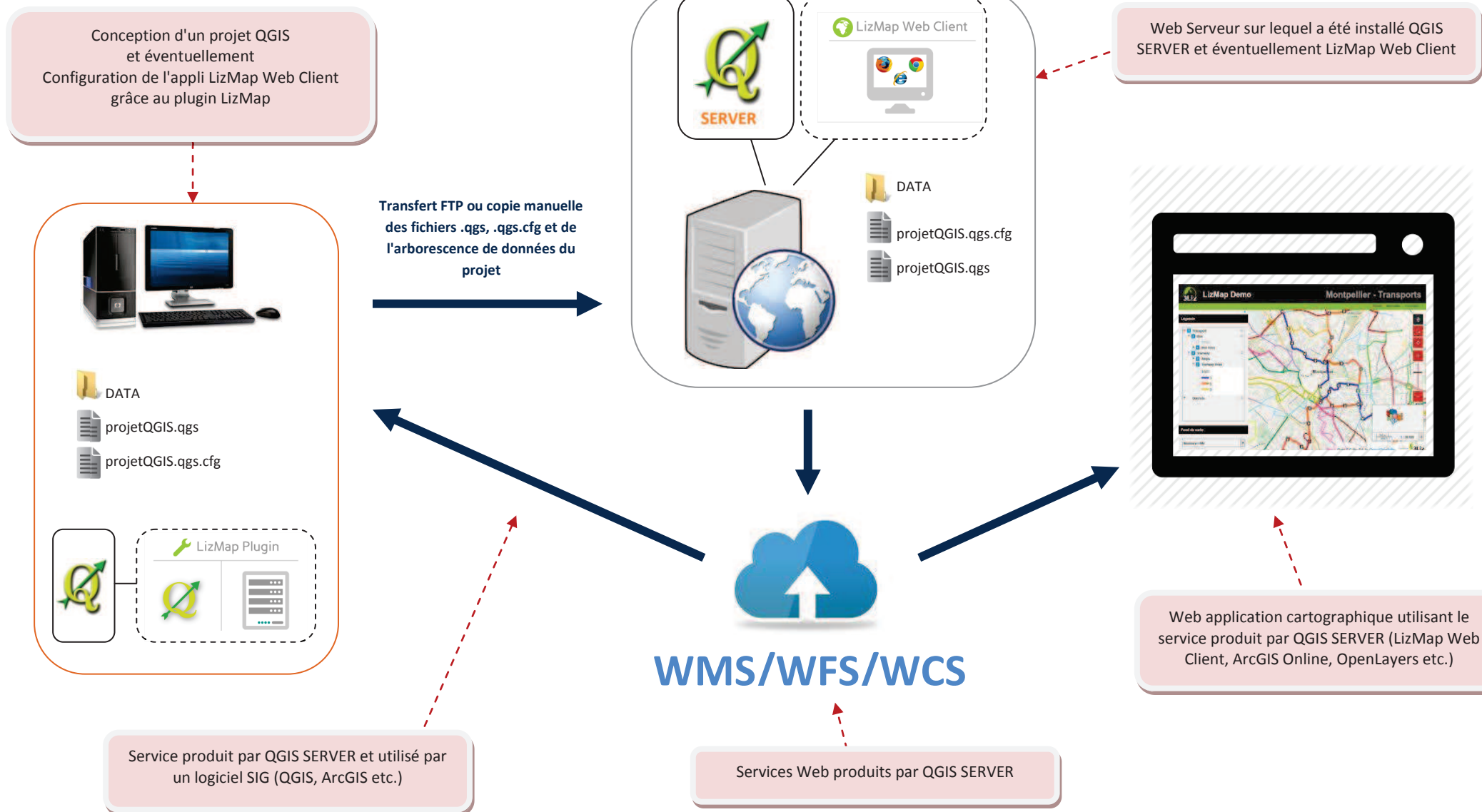
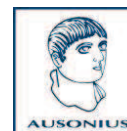
Plateforme PC : Windows 7 pro 64 bits

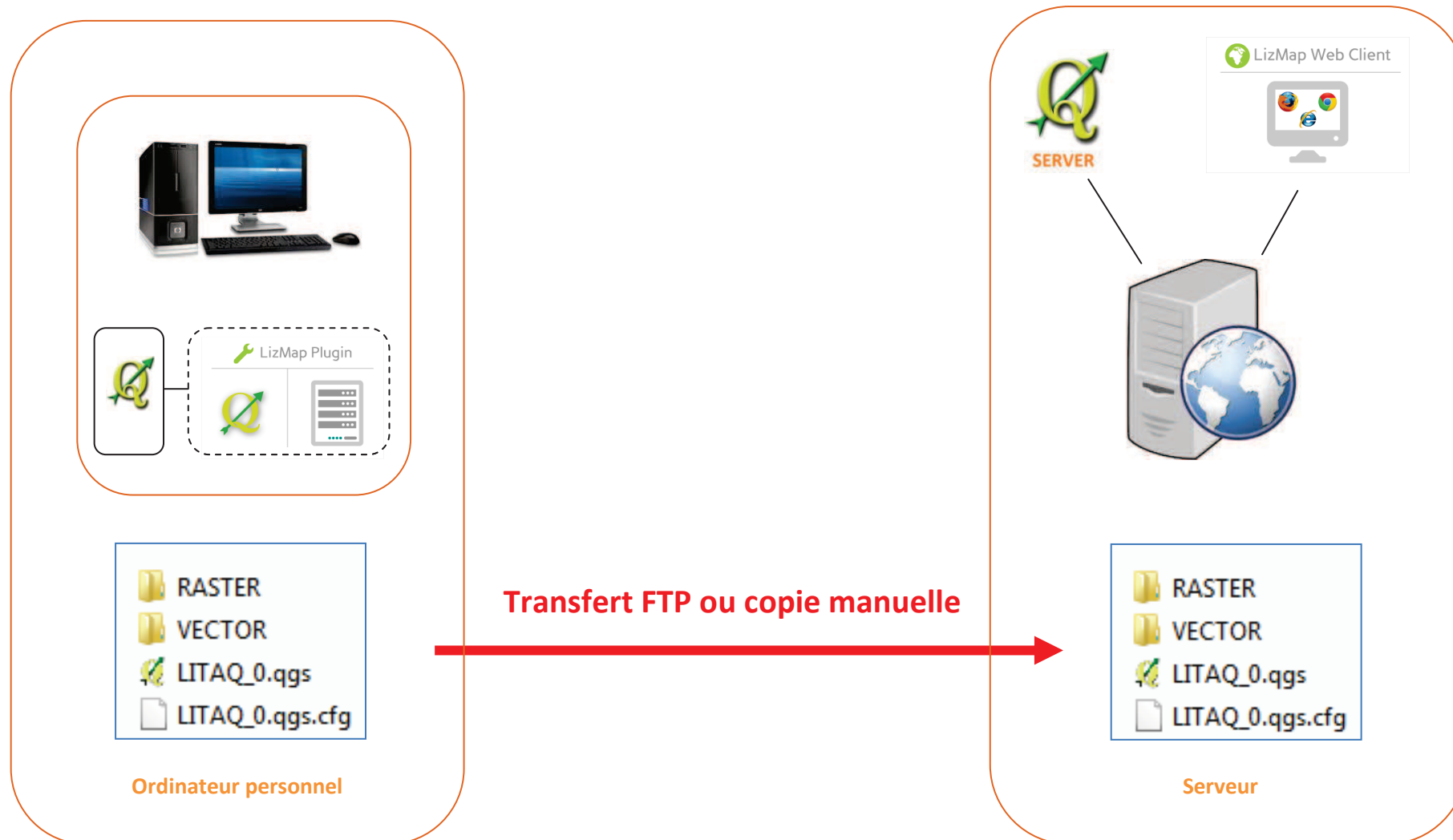
Plateforme serveur : Mac OS X 10.9.5

QGIS SERVER est un web serveur cartographique capable de publier des données en services WMS, WFS et WCS. Tout l'intérêt de l'outil est de pouvoir publier assez directement des projets élaborés dans QGIS, le service web reprenant exactement le "rendu" affiché dans le projet.

QGIS SERVER peut en outre être utilisé en conjonction avec LizMap Web Client. Ce dernier est un programme à installer sur le serveur et permettant d'utiliser le service créé par QGIS SERVER dans un navigateur web au sein d'une application carto "prête à l'emploi". Dans ce cas, pour paramétrer ce que l'application va être capable de faire côté client, il faut utiliser le plugin LizMap côté QGIS "bureau" (il faut donc installer le plugin dans QGIS). Ce plugin permet de renseigner un certain nombre de paramètres qui seront consignés dans un fichier .QGS.CFG. LizMap Web Client a besoin de ce fichier pour fonctionner.

Voir figures "QGIS SERVER : Architecture générale" et « QGIS SERVER : exacte réplification du projet et de ses données côté QGIS et côté QGIS SERVER » ci-dessous





QGIS SERVER : exacte réplcation du projet et de ses données côté QGIS et côté QGIS SERVER



Ce document décrit principalement la procédure pour publier un service WMS à partir d'un projet QGIS en utilisant QGIS SERVER. Il décrit aussi la procédure pour utiliser LizMap. Les procédures sont similaires pour les services WFS et WCS.

Ce document ne décrit pas les procédures d'installation de QGIS, QGIS SERVER et LizMap.

Ce document ne décrit pas la procédure de création d'un projet QGIS.

Préalable :

Faire en sorte que les données impliquées dans un projet QGIS ne soient pas "disséminées" dans une arborescence tentaculaire sur son ordinateur. Il faut en effet garder à l'esprit qu'il faudra dupliquer cette arborescence côté serveur

- Veiller à ce que les chemins d'accès aux données soient enregistrés en relatif :
Projet > Propriétés du projet... > Général > "Enregistrer les chemins : relatif"
- Veiller à activer la reprojection à la volée :
Projet > Propriétés du projet... > SCR > cocher "Activer le reprojection à la volée"

1 - Créer des services WMS et WFS avec QGIS et QGIS SERVER

Renseigner les paramètres " Serveur OWS " du projet QGIS

La publication en service WMS d'un projet QGIS nécessite de paramétrer spécifiquement ce dernier au moyen de l'onglet "Serveur OWS" :

1. Cliquer sur **Projet > Propriétés du projet...> Serveur OWS**
2. Renseigner les informations du bloc "**Informations générales du service**". Elles représentent les métadonnées du service qui peuvent être affichées sous différentes formes par les applications. Elles constituent une partie de la réponse à une requête GetCapabilities du standard WMS.
3. Renseigner les informations du bloc "**Capacités WMS**". Elles représentent principalement les informations relatives à l'emprise du projet publié et ses systèmes spatiaux de référence. Elles constituent une autre partie de la réponse à une requête GetCapabilities du standard WMS.
 - "**Emprise annoncée**" indique l'emprise qui sera publiée par le service WMS. Cette emprise publiée peut être différente de l'emprise du projet QGIS.
 - "**Restreindre les SCR**" permet d'indiquer les systèmes spatiaux de référence utilisés par le service. Il est conseillé d'indiquer le SCR du projet en cours ET le SCR EPSG:3857 dans le cas où des services de types GoogleMaps, Géoportail, OpenStreetMap etc. sont utilisés dans le projet QGIS et/ou utilisés dans les applications web.
 - "**Exclure les compositions**" permet de trier les compositeurs d'impression associés au projet QGIS. Les compositeurs d'impressions peuvent en effet être utilisés dans les applications web pour imprimer les cartes visionnées à l'écran en respectant la mise en page définie dans le compositeur d'impression (cas de l'appli LizMap par ex.)
 - "**Exclure les couches**" permet de désigner les couches du projet que l'on ne veut pas voir publiées dans le service WMS
4. (Facultatif) Renseigner les informations du bloc "**Capacités WFS**". Permet de désigner (cocher l'option "**Publié**") les couches vecteur du projet QGIS dont les informations attributaires des



objets qu'elles contiennent seront consultables dans le service publié, en cliquant sur l'objet par ex. Si une couche vecteur du projet QGIS n'est pas désignée dans ce bloc, elle sera publiée selon le standard WMS qui ne "transporte" pas les informations attributaires des objets de la couche. Si des couches PostGIS font partie du projet QGIS, il est possible d'autoriser leur édition lorsqu'elles seront publiées en WFS (options Mise à jour, Insérer, effacer)

5. Cliquer sur **OK**
6. Enregistrer le projet : un fichier .qgs est créé

Copier le projet QGIS sur le serveur

Pour que QGIS SERVER puisse créer un service WMS à partir d'un projet QGIS, il faut qu'il ait accès à ce dernier ainsi qu'à toutes les données référencées dans le projet. Il faut donc copier tout le projet QGIS dans l'emplacement adéquat sur le serveur, où se trouve QGIS SERVER.

La méthode la plus "basique" est de copier/coller tous les éléments.

Il est aussi possible d'utiliser un protocole FTP. Dans le cas d'une copie vers un serveur Windows ou Linux, le Plugin LizMap peut permettre d'effectuer une telle copie. dans le cas d'un serveur Mac OS X, il faut utiliser un outil FTP externe, comme FireFTP.

7. **Copier** sur le serveur le fichier .qgs et toutes les données qu'il référence en respectant scrupuleusement l'arborescence établie lors de l'élaboration du projet QGIS sur sa machine personnelle.
8. Si QGIS SERVER est opérationnel, le service WMS est immédiatement délivré. Il est accessible via une **URL** pointant vers le fichier .qgs copié sur le serveur :

http://NomDeDomaine.fr/qgis-mapserv/qgis_mapserv.fcgi?MAP=/Volumes/LaCie/WWW/DossierTest/Test1.qgs

Les programmes QGIS SERVER installés sur le serveur

le chemin d'accès vers le lieu de stockage du .qgs



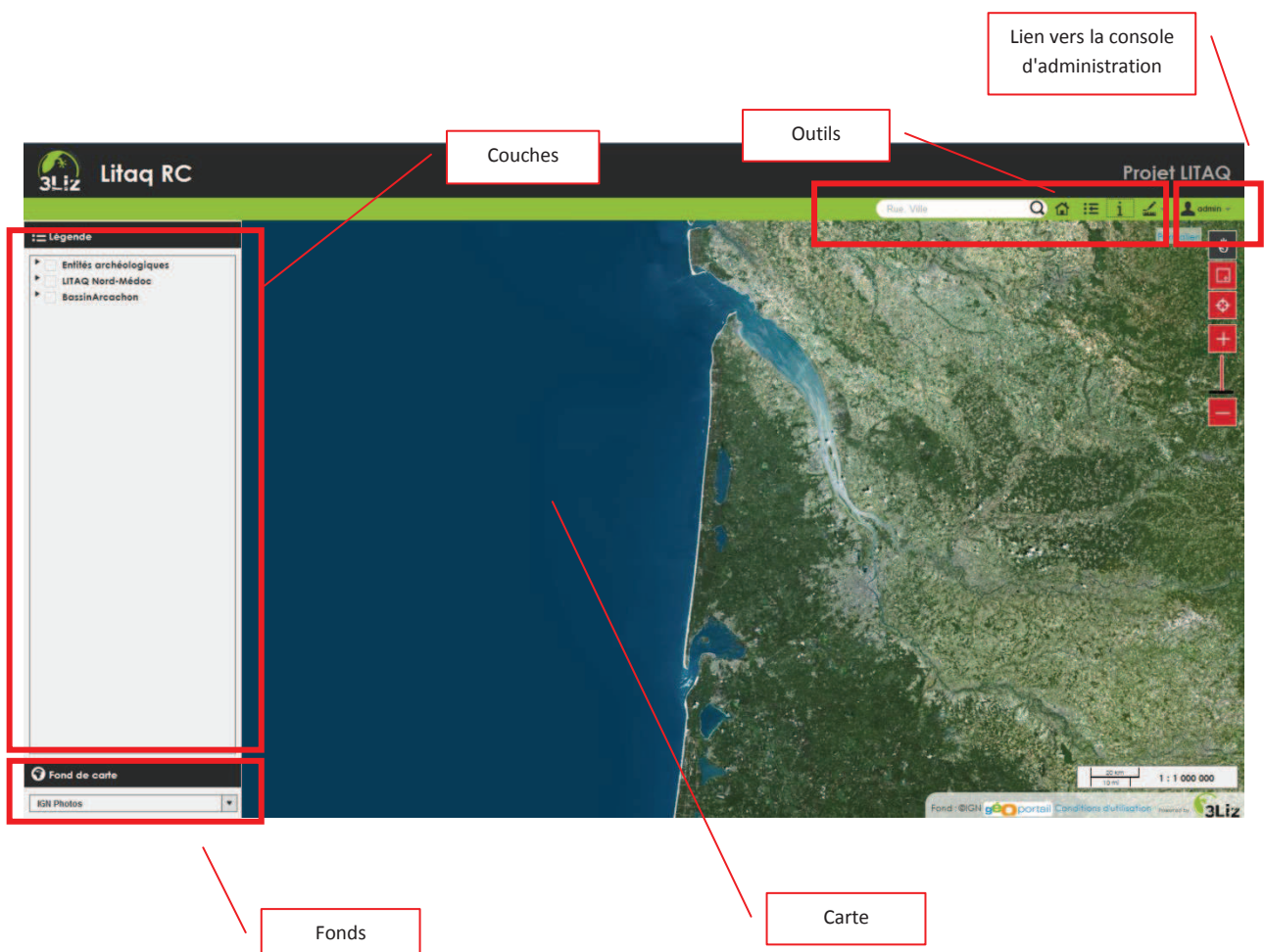
2 - Créer un service WMS avec QGIS, QGIS SERVER et LizMap

LizMap permet d'utiliser un service WMS/WFS/WCS, créé par QGIS SERVER, dans une application web cartographique "prête à l'emploi" et gratuite.

LizMap se compose de 2 entités :

- **LizMap Plugin** : un plugin à installer dans QGIS (disponible dans le dépôt officiel QGIS)
- **LizMap Web Client** : une application web cartographique dont le "moteur" est constitué de programmes à installer sur le même serveur que QGIS SERVER

Par le biais de l'interface web (que l'on peut lancer dès l'installation sur le serveur, même sans projet QGIS via une adresse de type <http://mondomaine.com/admin.php>), on accède à la console d'administration LizMap. C'est ici que tous les droits d'accès sont définis. C'est aussi là qu'il faut définir l'URL du serveur ainsi que divers paramètres relatifs à l'emplacement du cache serveur etc.





Renseigner les paramètres " Serveur OWS " du projet QGIS

Exécuter toutes les étapes décrites précédemment (voir "Créer des services WMS et WFS avec QGIS et QGIS SERVER")

Utiliser LizMap Plugin pour paramétrer LizMap Web Client

Nous n'évoquons ici que les 2 Onglets pour lesquels il est impératif d'indiquer des informations ("Couches " et "Carte"). L'onglet "Fonds" est facultatif mais son usage très utile. Aussi l'évoquons-nous brièvement.

1. Ouvrir LizMap Plugin (une fois installé, Lizmap Plugin est disponible dans l'onglet "Internet")
2. Paramétrer l'onglet "Couches"

Le nom de la couche tel qu'il apparaîtra dans Lizmap Web client

Le texte qui apparaîtra au survol du nom de la couche dans Lizmap Web client

Pour afficher la couche dès l'ouverture de Lizmap Web client

Pour activer les pop contenant les données attributaires des objets des couches (à définir comme service WFS au préalable dans l'onglet OWS Server du projet QGIS)

Masque/affiche les vignettes symbolisant les objets ou la légende d'une classification par ex.

Le groupe de couches sera affiché comme une couche unique

Place la couche dans la partie Fonds de carte de l'interface cartographique

Empêche le tuilage de l'image en multiple tuiles. L'image est servie en une unique tuile

Active le cache côté serveur

Active le cache côté navigateur

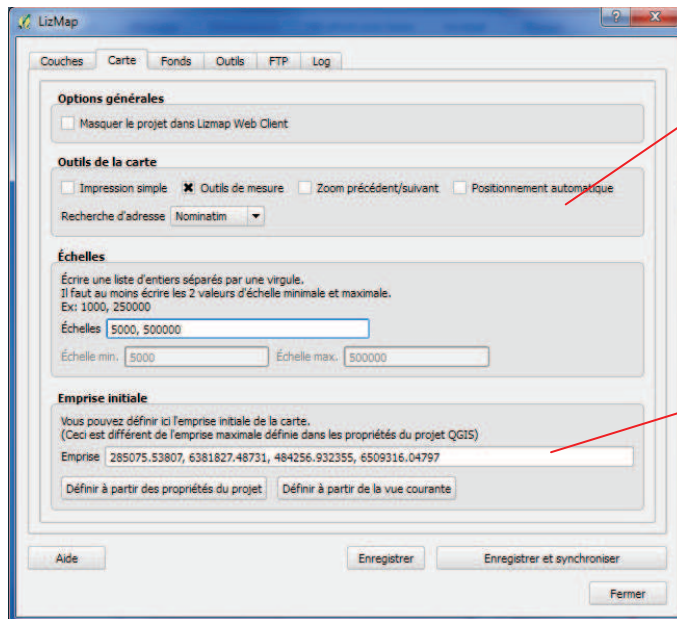
Format de l'image servie : PNG est à préconiser

Cache Serveur 0 sec : le serveur crée le cache et ne l'efface jamais

Par ex 5, 5 => l'image servie aura une hauteur et une largeur 5 fois plus grande que l'image demandée par le client. Permet d'éviter qu'un zoom sur une zone ne tronque des étiquettes

3Liz préconise 2592000 sec (1 mois)

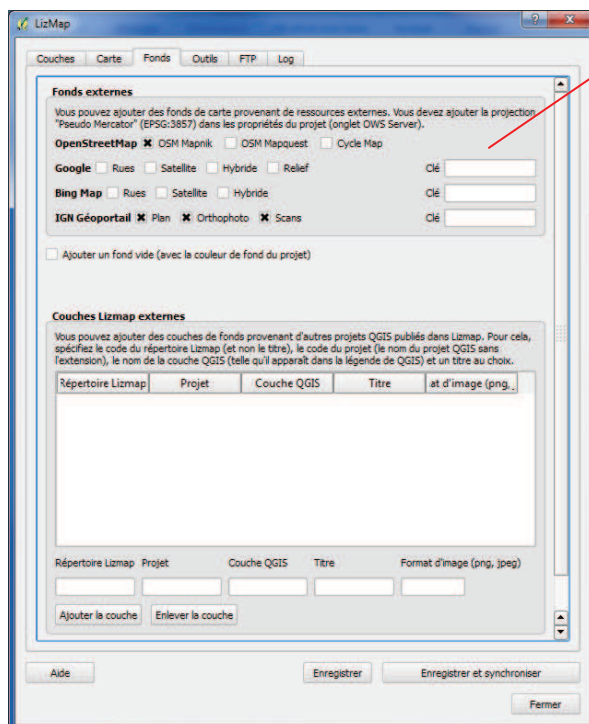
3. Paramétrer l'onglet "Carte"



Quelques outils prêts à l'emploi. Pour l'impression simple, il faut que le projet QGIS comporte au moins un compositeur d'impression

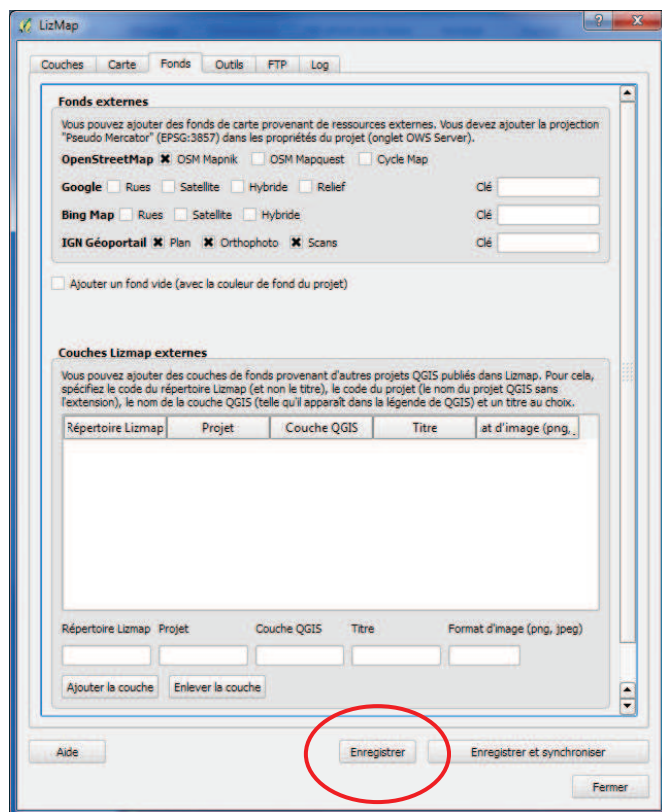
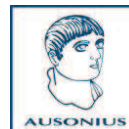
Définit l'emprise de la carte à l'ouverture de l'application. Si elle n'est pas renseignée c'est l'emprise définie dans l'onglet "Serveur OWS" du projet QGIS qui est reprise

4. Paramétrer l'onglet "Fonds" facultatif)



Définit les couches disposées dans la partie "Fonds de cartes". Certains exigent une clé d'activation. Leur utilisation provoque obligatoirement l'emploi du SCR EPSG:3857 pour le service WMS

5. Cliquer sur Enregistrer



L'enregistrement des paramètres définis dans le plugin LizMap crée un fichier `.qgs.cfg` placé automatiquement au même niveau que le `.qgs` du projet QGIS. Ce fichier est indispensable au fonctionnement de LizMap Web Client.

Copier le projet QGIS (.qgs) et le fichier de configuration de LizMap (.qgs.cfg) sur le serveur

Pour que QGIS SERVER puisse créer un service WMS à partir d'un projet QGIS, il faut qu'il ait accès à ce dernier ainsi qu'à toutes les données référencées dans le projet. Il faut donc copier tout le projet QGIS dans l'emplacement adéquat sur le serveur, où se trouve QGIS SERVER.

La méthode la plus "basique" est de copier/coller tous les éléments.

Il est aussi possible d'utiliser un protocole FTP. Dans le cas d'une copie vers un serveur Windows ou Linux, le Plugin LizMap peut permettre d'effectuer une telle copie. dans le cas d'un serveur Mac OS X, il faut utiliser un outil FTP externe, comme FireFTP.

1. **Copier** sur le serveur le fichier `.qgs` et toutes les données qu'il référence en respectant scrupuleusement l'arborescence établie lors de l'élaboration du projet QGIS sur sa machine personnelle.
2. Si QGIS SERVER est opérationnel, le service WMS est immédiatement délivré. On peut alors accéder à l'application web LizMap via une **URL** de type :

<http://NomDeDomaine.fr/lizmap/lizmap/www/index.php/view/map/?repository=litaq&project=ProjetLizMap>

ANNEXE 10 : PHOTOSHOP – Mise en transparence de portions d'une image

Logiciels : Photoshop CS3

Plateforme : Windows 7 pro 64 bits

Importer l'image à manipuler

1. Fichier > Ouvrir...

Dupliquer le calque -> pour ne travailler que sur une copie

2. Clic droit sur le calque > « **Dupliquer le calque** »
3. Verrouiller le calque originel et le désafficher
4. Ne travailler que sur le calque dupliqué

Sélectionner les zones à supprimer avec l'outil « baguette magique »



- 5- Cliquer sur les zones à supprimer (maj + clic pour sélectionner plusieurs zones) => (attention à la tolérance d'accrochage)
Des **pointillés** clignotent alors...

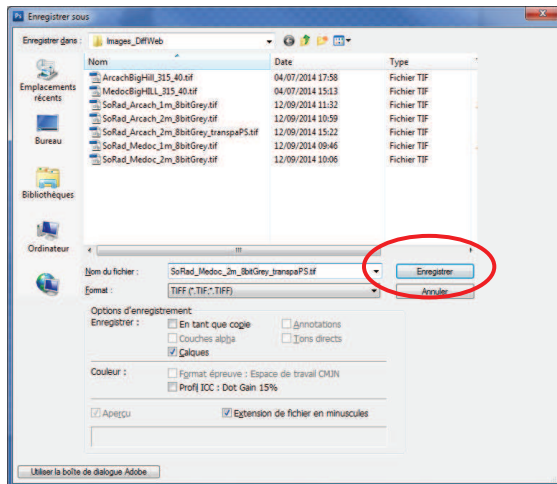
Enregistrer le travail en une nouvelle image



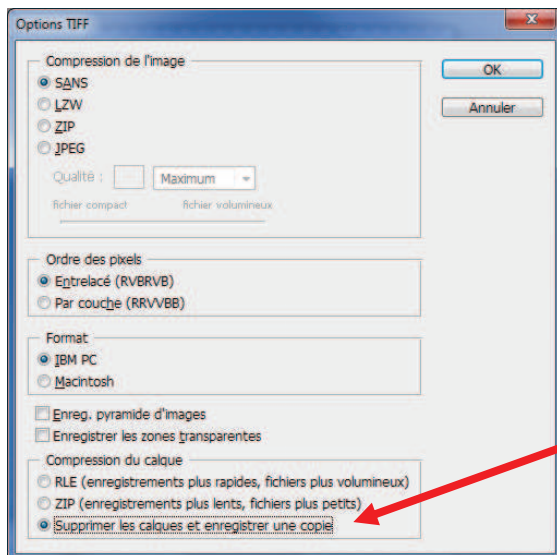
Pour enregistrer en PNG, l'image doit être inférieure à 30 000 x 30 000 pixels

- 6- Enregistrer sous...

- 7- Cliquer sur **Enregistrer**

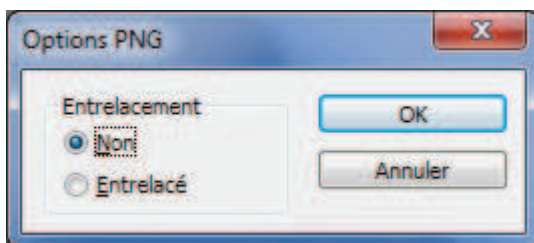


8- Sélectionner « Supprimer les calques et enregistrer une copie »



9- Cliquer sur OK

10- Sélectionner « Entrelacement : non »



10- Cliquer sur OK