

École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy  
Université Henri Poincaré (Nancy1)  
Institut National Polytechnique de Lorraine  
Mémoire de Master Design Global, spécialité  
« **Architecture Modélisation Environnement** »

# Système d'information géographique (SIG) appliqué au domaine archéologique, étude de cas : le site archéologique de Grand.

Anaïs Guillem

## Laboratoire d'accueil :

*MAP-CRAI (Centre de Recherches en Architecture et en Ingénierie)-  
UMR n°3495 – Modèles et simulations pour l'Architecture et le Patrimoine*

**Sous la direction de :** *Bignon J.-Cl., Professeur,*

**Mâtres de stage :** *Fuchs A., architecte DPLG, docteur en Sciences,  
Dechezleprêtre Th., conservateur.*

**Soutenance Septembre 2013**



Conseil Général  
**VOSGES**

JE VOIS  
LA VIE EN  
VOSGES



École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy  
Université Henri Poincaré (Nancy1)  
Institut National Polytechnique de Lorraine  
Mémoire de Master Design Global, spécialité  
« **Architecture Modélisation Environnement** »

# Système d'information géographique (SIG) appliqué au domaine archéologique, étude de cas : le site archéologique de Grand.

Anaïs Guillem

**Laboratoire d'accueil :**

*MAP-CRAI (Centre de Recherches en Architecture et en Ingénierie)-  
UMR n°3495 – Modèles et simulations pour l'Architecture et le Patrimoine*

**Sous la direction de :** *Bignon J.-Cl., Professeur,*

**Maîtres de stage :** *Fuchs A., architecte DPLG, docteur en Sciences,  
Dechezleprêtre Th., conservateur.*

**Soutenance Septembre 2013**



## Table des matières

<b>I- Introduction et problématique.....</b>	<b>7</b>
<b>I-1 Présentation .....</b>	<b>7</b>
I-1-a Contexte et présentation du projet.....	7
I-1-b Présentation du site .....	7
I-1-c Historiographie état des recherches archéologiques à Grand .....	7
<b>I-2 Cartographie de Grand.....</b>	<b>9</b>
I-2-a Cartographies existantes anciennes... ..	9
I-2-b ...et récentes.....	10
I-2-d Enjeux cartographiques.....	12
<b>I-3 Cartographie et système d'information géographique .....</b>	<b>12</b>
I-3-a Qu'est-ce qu'un SIG ?.....	12
I-3-b Qu'est-ce qu'un SIGA ou système d'information géographique archéologique ?.....	14
I-3-c Pourquoi utiliser les SIG en archéologie ?.....	15
I-3-d SIG, outil d'aide à la recherche.....	16
I-3-e Matériel, outils logiciels .....	16
<b>I-4 Problématique et plan du mémoire.....</b>	<b>16</b>
<b>II- Etat de l'art : les SIG archéologiques : définition et spécificité de l'information archéologique .....</b>	<b>19</b>
<b>II-1 Approche géographique des SIG.....</b>	<b>19</b>
II-1-a Les géographes, premiers utilisateurs des SIG dans le monde universitaire .....	19
II-1-b Méthode générale de définition du projet de SIG .....	20
II-1-c Planning et temporalité du projet.....	21
<b>II-2 L'information archéologique : Données archéologiques et SIG.....</b>	<b>22</b>
II-2-a Développement des SIG en archéologie .....	22
II-2-b Processus archéologique avec et sans utilisation du SIG .....	23
II-2-c L'Institut National de Recherche en Archéologie Préventive (INRAP) et les SIG en archéologie préventive.....	25
II-2-d L'observatoire des pratiques en géomatique .....	26
II-2-e Outil d'aide à la recherche collaboratif.....	27
<b>II-3 Modélisation des données .....</b>	<b>28</b>
II-3-a Modélisation.....	28
II-3-b Langages de modélisation.....	28
II-3-c Modèle OH-FET (Objet Historique - Fonction, Espace, Temps) .....	29
II-3-d Thesaurus fonctionnel du CNAU .....	32
<b>III- Mise en œuvre du projet de SIG carte archéologique de Grand .....</b>	<b>35</b>
<b>III-1 Etude préalable.....</b>	<b>35</b>
III-1-a Définition des besoins .....	35
III-1-b Questionnaire .....	37
III-1-c Analyse des besoins (analyse des réponses, synthèse) .....	37
III-1-d Mise en œuvre de la collecte des données .....	38
<b>III-2 Définition détaillée.....</b>	<b>40</b>
III-2-a Dictionnaire des données .....	40
III-2-b Modèle conceptuel des données.....	42
III-2-c Modélisation des données dans le SIG.....	43
<b>III-3 Etude technique.....</b>	<b>44</b>
III-3-a Planning et avancement. ....	44
III-3-b Tests et tests logiciels.....	44
III-3-c Méthodes/Procédés de saisies de données.....	45
<b>III-4 Réalisation.....</b>	<b>46</b>

III-4-a Saisie des données : campagne 2013 .....	46
III-4-b Validation.....	51
<b>III- 5 Réalisation et atlas topographique .....</b>	<b>51</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>53</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>55</b>
<b>Glossaire des mots-clefs.....</b>	<b>59</b>
<b>Table des illustrations.....</b>	<b>65</b>
<b>Table des annexes .....</b>	<b>67</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>68</b>
<b>1-Localisation de Grand. ....</b>	<b>68</b>
<b>2-Carte de Cassini. ....</b>	<b>68</b>
<b>4-Tableau initial des opérations archéologiques.....</b>	<b>70</b>
<b>5-Questionnaire pour établir le dictionnaire des données et réponses.....</b>	<b>72</b>
<b>6-Re projection de données avec Global Mapper. ....</b>	<b>79</b>
<b>7-Numérisation manuelle du cadastre napoléonien.....</b>	<b>80</b>
<b>8-TWCC, the World Coordinate Converter.....</b>	<b>81</b>
<b>Article proposé pour DigitalHeritage 2013 .....</b>	<b>82</b>

# **I- Introduction et problématique**

## **I-1 Présentation**

### **I-1-a Contexte et présentation du projet**

Dans le cadre du master 2 de recherche en Architecture à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy au laboratoire du MAP-CRAI, (Modèles et simulations pour l'Architecture et le Patrimoine, Centre de Recherche en Architecture et en Ingénierie), j'ai eu la possibilité de travailler sur la mise en place d'un système d'information géographique (SIG) orienté archéologie et patrimoine pour le site de Grand. Mon travail a eu pour objectif de définir les besoins du site de Grand en termes de SIG pour la carte archéologique et pour la synthèse des opérations archéologiques (synthèse des données récentes et anciennes). Ce stage et mémoire de recherche est fait en collaboration avec le Conseil Général des Vosges, et plus précisément avec l'antenne du Conseil Général à Grand (Thierry Dechezleprêtre), la cellule cartographique SIG à Epinal (T. Bauche et H. Groscolas) et les archéologues travaillant sur Grand (A. Resch). Le SIG carte archéologique de Grand a pour vocation à alimenter le SIG du Conseil Général des Vosges dans la partie Culture.

### **I-1-b Présentation du site**

La commune de Grand se situe dans le département des Vosges (88) en Lorraine<sup>1</sup>, à 70km de Nancy, 20 km de Domrémy et 21km de Neufchâteau. Du point de vue géologique, Grand est situé sur un plateau karstique. Le sous-sol est formé de failles calcaires formant un réseau de lignes parallèles et perpendiculaires. Les études du sous-sol géologique et du réseau d'eau sont extrêmement liées en raison de la nature du sol. Grand est l'un des rares cas de cité antique qui ne soit pas implanté en bordure de cours d'eau. Le site de Grand est connu pour l'importance de ses vestiges antiques et ce, depuis le 18ème siècle. Outre l'exploitation forestière encore présente, l'activité à Grand est en rapport avec les recherches archéologiques et le tourisme culturel.

### **I-1-c Historiographie état des recherches archéologiques à Grand**

Les premières investigations au XVIIIème siècle : la première mention des vestiges archéologiques de Grand a été faite dans le Recueil d'antiquités égyptiennes, grecques, étrusques, romaines et gauloises (1752-1766) du Comte de Caylus. Ses

---

<sup>1</sup> Cf annexe 1.

descriptions s'appuient sur les travaux de Jacques-Germain Legendre. Un plan général du village et le relevé de l'amphithéâtre réalisés par Morlat font partie des documents graphiques les plus anciens.

Les recherches du XIX<sup>ème</sup> siècle : entre 1820 et 1823, Jean-Baptiste Prosper Jollois, ingénieur en chef du département des Vosges, mène plusieurs campagnes de fouilles pour dégager les principaux éléments de l'amphithéâtre. Il fait consigner ses observations de fouille sur des relevés qu'il fait dessiner à partir des travaux des géomètres. Felix Voulot, conservateur du musée départemental des Vosges, fait dégager en 1883 la mosaïque d'une surface de 232m<sup>2</sup> inscrite dans un vaste bâtiment à abside dont les murs sont recouverts en partie basse de plaques de marbre. En 1895, dans une citerne de 3m de diamètre sont retrouvés les fragments d'une colonne au cavalier.

La première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle : le site de Grand était retombé dans l'oubli pendant la seconde moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle jusqu'à ce que Camille Jullian, professeur au Collège de France publie en 1917 une étude sur la stèle dite à « Meditrina » découverte en 1841. En 1933, Maurice Toussaint publie dans le Pays Lorrain un premier bilan des découvertes réalisées depuis la XVIII<sup>ème</sup> siècle. Il est alors chargé par la Fédération Lorraine de conduire de nouvelles fouilles. En 1936, il repère des éléments de voirie devant la Basilique, le rempart occidental et la nécropole mérovingienne du Béhaut. Les sondages de 1937-1938 sont interrompus le temps de la guerre et ce n'est qu'en 1948 que Maurice Toussaint publie le résultat de ses travaux dans le *Répertoire archéologique du département des Vosges*. C'est ce document qui a largement contribué à faire connaître le site de Grand dans la communauté archéologique. Il a notamment servi de base à Albert Grenier pour la rédaction de plusieurs notices dans son *Manuel d'Archéologie* (1958).

Les recherches impulsées par Edouard Salin : E. Salin, membre de l'Institut et président de la Société d'Archéologie Lorraine, relance les recherches sur Grand dans les années 1960. Il associe R. Billoret à ses travaux. Il effectue le sondage du Jardin Huguet. C'est à cette époque qu'a lieu la première prospection géophysique. Un nouveau programme de recherches pour l'amphithéâtre est mené par R. Billoret et A. Olivier. L'étude sur le sous-sol et les réseaux souterrains est conduite par J.-P. Bertaux : 15km de souterrains et 307 puits sont découverts.

Depuis 2007, le Conseil Général des Vosges a relancé les recherches archéologiques à Grand avec Projet Collectif de Recherche PCR « L'agglomération antique de Grand » (2009-2011, puis 2012-2014), dirigé par Thierry Dechezleprêtre et groupé autour d'un Conseil Scientifique présidé par John Scheid. Le PCR se décompose en trois axes :

- l'axe 1 concerne le bilan documentaire ;
- l'axe 2 est consacré à l'occupation du sol autour de Grand ;
- l'axe 3 est dédié à l'organisation urbaine et à l'habitat de Grand.

Le SIG carte archéologique fait partie de l'axe 1. Enjeu de la carte archéologique dans le PCR. L'axe 1 a commencé par la collecte et le rassemblement des archives et la constitution d'un fonds. La constitution du tableau des opérations



archéologiques a permis de regrouper les données nécessaires à la constitution du SIG carte archéologique. La mise en œuvre du SIG intervient dans le deuxième PCR. Il s'agit de mettre en œuvre un outil SIG pour faciliter la synthèse cartographique, l'acquisition des données etc.

## I-2 Cartographie de Grand

### I-2-a Cartographies existantes anciennes...

Le site de Grand étant connu depuis le XVIIIème siècle a été très tôt cartographié. La découverte de vestiges a été accompagnée de dessins, relevés, plans. Parmi les documents anciens les plus intéressants, la carte du bourg du comte de Caylus (figure 1), la première carte archéologique (figure 2) de J.-B. P. Jollois in *Mémoire sur quelques antiquités du département des Vosges* (1843).

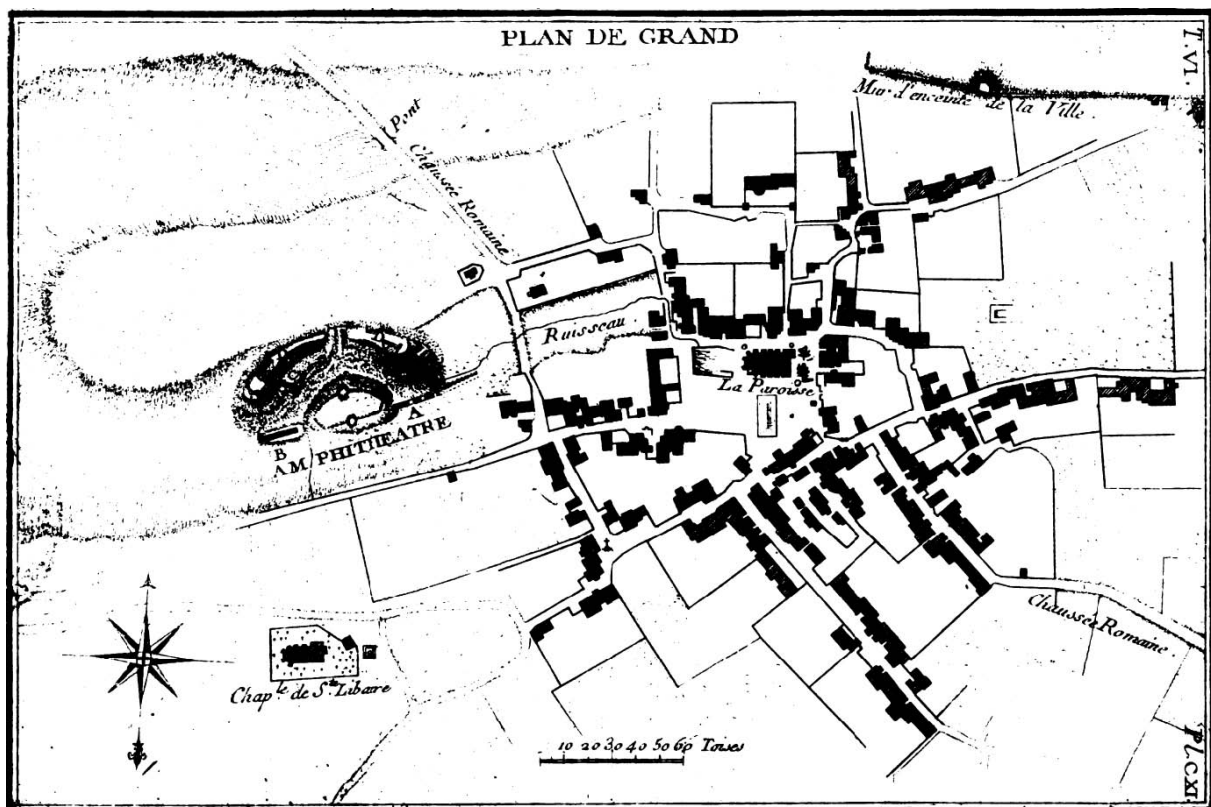


Figure 1 : Plan de Grand levé sous les ordres de Monsieur Legendre (d'après Caylus, 1764, planche CXI).

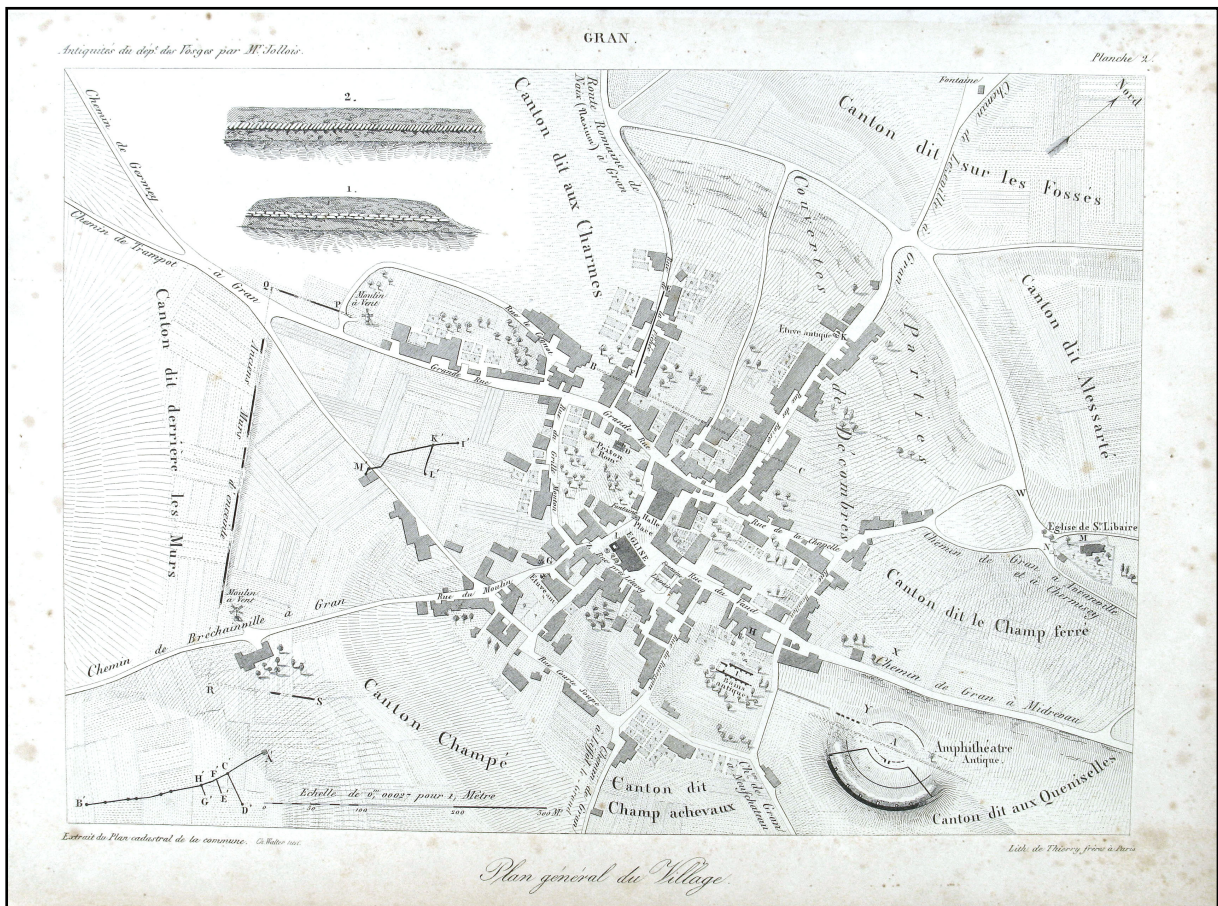


Figure 2 : première carte archéologique, J.-B. P. Jollois, *Mémoire sur quelques antiquités du département des Vosges* (1843).

## I-2-b ...et récentes

La carte archéologique est le document qui rassemble toutes les informations archéologiques sur Grand. Il s'agit d'un document de synthèse complété progressivement par Th. Dechezleprêtre depuis 2009 (figure 3). Ce document a été dessiné sous avec un logiciel de dessin vectoriel du type Adobe Illustrator. Il regroupe les opérations archéologiques recensées dans un tableau<sup>2</sup> où sont consignées les informations attributaires. Ce document rassemble tous les derniers travaux archéologiques ainsi qu'une bonne partie des opérations archéologiques anciennes. Pour autant, le dessin vectoriel ne permet pas le géoréférencement des structures. On ne peut pas se fier précisément aux recalages faits avec cet outil. Mais ce document qui est le premier document cartographique de synthèse des données actualisées sert de base de travail au même titre que le tableau des opérations archéologiques.

<sup>2</sup> Cf Tableau des opérations archéologiques en annexe.



Figure 3 : carte archéologique AI, DAO Th. Dechezleprêtre, 2013.

**I-2-c Carte archéologique** : qu'est-ce qu'une carte archéologique ? Grand et sa carte archéologique. Méthodes, contraintes, problématiques...

La carte archéologique est définie en France comme un document qui recense au niveau cadastral, les sites et indices de sites connus appelés entités archéologiques

(EA) et enregistrés dans la base de données PATRIARCHE (PATRImoine ARCHéologique). Les données sont issues de la bibliographie, des fouilles, des prospections pédestres, aériennes et géophysiques. Cette application nationale est constituée d'un système de gestion de base de données (SGBD) Oracle couplé à un système d'information géographique.

A l'échelle d'un site ou d'une ville, la carte archéologique est un document de synthèse qui rassemble les informations archéologiques sur un territoire. Il existe une collection d'ouvrage portant le même nom *Carte archéologique de la Gaule (CAG)*<sup>3</sup> ... publiée par l'Académie des Inscriptions et des Belles-Lettres. Grand est l'un des deux sites en France à n'avoir pas publié sa Carte Archéologique dans cette collection.

## I-2-d Enjeux cartographiques

Dans son *Manuel d'archéologie* (Djindjian, 2011), F. Djindjian montre que la gestion de l'information cartographique est l'un des enjeux essentiels en archéologie. Aujourd'hui, les outils cartographiques se sont considérablement développés : relevés stratigraphiques et planigraphiques, plans d'architecture, relevés d'élévation par photogrammétrie, cartographies physiques et thématiques, systèmes d'informations géographiques, acquisition 3D. Tous ces documents produits sont hétérogènes mais ont comme point commun le territoire dans lequel ils s'inscrivent. L'espace se présente comme « support de dialogue » (Costa, 2012, p.342) entre les études, les acteurs. Le récolement des informations archéologiques sous un SIG permet de faire de la dimension spatiale un des « socles élémentaires du partage des données et donc de l'interdisciplinarité » (COSTA, 2012, p. 341).

## I-3 Cartographie et système d'information géographique

### I-3-a Qu'est-ce qu'un SIG ?

L'acronyme SIG (système d'information géographique) désigne à la fois le logiciel permettant de manipuler les données (ex. SIG ArcGis), le projet informatique (ex. le SIG du Conseil Général des Vosges) et le système d'information [Pornon, p7]. L'acronyme SIG est utilisé pour Système d'Information Géographique. Il désigne indifféremment les outils logiciels et les systèmes d'information eux-mêmes. Les définitions proposées insistent tantôt sur le caractère technique, tantôt sur la finalité du système, tandis que les définitions les plus récentes ont tendance à intégrer les deux points de vue. D'un point de vue technique, un SIG est un : « *system of computer hardware, software, and procedures designed to support the capture, management, manipulation, analysis, modeling, and display of spatially referenced data for solving complex planning and management problems* »<sup>4</sup>. Si l'on met l'accent

---

<sup>3</sup> Carte archéologique : voir glossaire.

<sup>4</sup> « Un système composé de matériels, de logiciels et de procédures informatiques créés pour permettre l'acquisition, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données géo référencées pour résoudre des problèmes de planification et de gestion » Définition de la Federal

sur la finalité des SIG, comme dans la définition proposée par Michel Didier<sup>5</sup>, un SIG est « un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision ». La synthèse de ces deux points de vue fait aujourd'hui consensus pour apporter une définition.

Cette définition générale s'adresse avant tout aux spécialistes des SIG. Mais pour l'utilisateur d'un SIG archéologique, c'est-à-dire l'archéologue, il s'agit de définir les principes et les fonctions qui font la pertinence de cet outil. Pour cela, commençons par replacer les SIG dans le panorama des grandes familles de logiciels : DAO, CAO, SGBD, SIG.

DAO/CAD : Les outils de Dessin Assisté par Ordinateur (ou Computer Aided Drafting) sont des outils de dessin destinés à l'illustration. Le résultat est une production d'un rendu graphique sans aucune relation avec les bases de données.

CAO/CAD : Les outils de Conception Assistée par Ordinateur (ou Computer Aided Design) sont des outils informatiques pour imaginer un objet et générer les données nécessaires à sa fabrication. Une ambiguïté existe avec la Cartographie Assistée par Ordinateur ou cartographie automatique (Automated Mapping), qui permet la réalisation de cartes avec un jeu de données.

SGBD/DBMS : Les Systèmes de Gestion de Base de Données (ou DataBase Management System) permettent la gestion automatique d'une base de données (création, modification, interrogation, édition des données).

SIG : Les SIG sont parfois définis comme la réunion de tous les outils précédents. On peut définir la structure d'un SIG par un noyau de SGBD en interaction avec une couche de DAO et sur lequel se greffent autant de modules que de développements spécifiques (analyse spatiale, 3D, topographie, télédétection, cartographie etc). Les SIG reprennent donc certaines fonctionnalités des outils précédents en les assemblant mais la dimension spatiale des informations mobilisées dans les SIG introduit un niveau de complexité supplémentaire : la spécificité des SIG réside dans la modélisation des données géométriques qui permet des analyses sur les propriétés spatiales des objets. Par ailleurs, le géo-référencement assure le lien spatial entre toutes les données intégrées dans un SIG, c'est-à-dire que toutes les données sont localisées selon un référentiel commun. Un SIG se présente donc comme un outil de gestion (SGBD) et d'analyse de données spatiales (fonctions reposant sur l'interaction entre les données attributaires et les données géométriques) dont les résultats peuvent être édités, notamment sous forme cartographique.

Le schéma de principe d'un SIG en tant que logiciel pourrait être décrit de la manière suivante : (figure 4) [Rodier, pp15-16].

---

Interagency Coordinating Committee on Digital Cartography, USA, 1988 (in *Les SIG*, Que sais-je ? J. Denègre et F. Salgé).

<sup>5</sup> CNIG, Conseil National de l'Information Géographique, instance consultative en lien avec l'IGN.

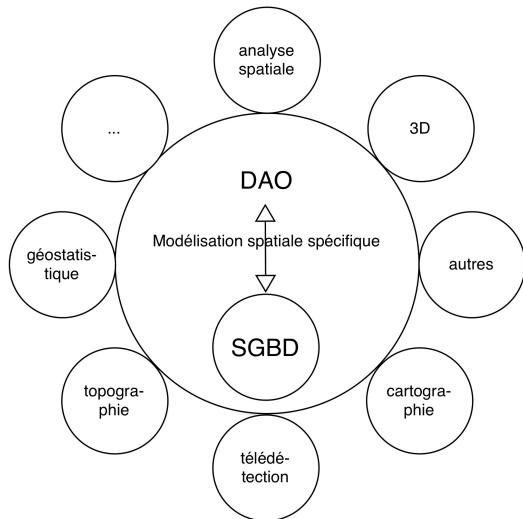


Figure 4 : Schéma de principe d'un SIG : le cœur du système d'information est constitué d'une modélisation spatiale des données qui fait le lien entre noyau SGBD pour les données descriptives et une couche de DAO pour les données géométriques. Tout un jeu de modules additionnels complète ce système. (Rodier, 2011, p.16)

Le cœur du système d'information est constitué d'une modélisation spatiale des données qui fait le lien entre noyau SGBD pour les données descriptives et une couche de DAO pour les données géométriques. Un jeu de modules additionnels complète ce système selon les traitements de données souhaités. Les SIG reprennent donc certaines fonctionnalités d'outils existants (DAO, CAO, SGBD) en les assemblant dans la logique d'un système d'information. Pourtant, la dimension spatiale des informations mobilisées dans les SIG induit un niveau de complexité supplémentaire car la modélisation des données géométriques permet des analyses sur les propriétés spatiales des objets. C'est ce qui fait la spécificité des SIG. Rodier [in Rodier, p15] résume les choses ainsi : « un SIG est un outil de gestion (SGBD) et d'analyse de données spatiales (fonctions avancées reposant sur l'interaction entre données attributaires et données géométriques) dont les résultats peuvent être édités, entre autres, sous forme cartographique (fonction de cartographie automatique). »

### I-3-b Qu'est-ce qu'un SIGA ou système d'information géographique archéologique ?

La tendance actuelle dans les programmes de recherche montre que l'on abandonne progressivement l'utilisation d'outils SIG pour privilégier la construction de systèmes d'information à référence spatiale spécifiques à l'archéologie.

In [Denegre, Salgé, 1996], les cinq grandes fonctions élémentaires des SIGA sont décrites : abstraire, acquérir, archiver, analyser, afficher (figure 5). Ces fonctions sont les étapes du processus qui assure la validité scientifique de la recherche archéologique. Elles constituent un premier modèle spécifique de SIG archéologique.

<p><b>Abstraire :</b></p> <p>la modélisation du monde réel sous forme de schéma conceptuel est le préalable indispensable à la structuration d'un système d'information. Ici, il s'agit de formaliser les objets d'études archéologiques avant de les modéliser en fonction des échelles d'analyse et des objectifs fixés.</p>			
<p><b>Acquérir :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-relevés de terrain</li> <li>-topographie</li> <li>-photographie</li> <li>-géoréférencement</li> <li>-DAO</li> <li>-enregistrement stratigraphique</li> <li>-prospections</li> </ul>	<p><b>Archiver :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-gestion de la documentation</li> <li>-données et plans de fouille</li> <li>-inventaires régionaux ou nationaux</li> </ul>	<p><b>Analyser :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-étude exploratoire en post-fouille</li> <li>-croisement avec d'autres données (sources écrites, cartes anciennes, environnement)</li> <li>-répartition spatiale de mobilier, de structures</li> <li>-évaluation du potentiel archéologique et modélisation prédictive.</li> </ul>	<p><b>Afficher :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-cartographie thématique</li> <li>-production de plans pour les rapports de fin de fouille</li> <li>-mise en page automatique selon les modèles</li> <li>-publication des données</li> <li>-mise en ligne</li> </ul>

Figure 5 : le schéma universel de principe décrivant les fonctions élémentaires des SIG in (Denègre, Salgé) peut être renseigné par les étapes ou opérations du processus du travail archéologique : on obtient ainsi un premier modèle spécifique à l'archéologie (Rodier, 2011).

Dans le cadre du mémoire et du stage sur le SIG de Grand, les fonctions d'abstraire, d'acquérir et d'archiver ont volontairement été développées. Ce choix s'explique par la temporalité du projet du SIG qui n'en est qu'à son début et développement. Le projet de SIG de Grand est dans sa phase de construction. L'analyse et l'affichage concernent plutôt les phases d'utilisation et de développement.

### I-3-c Pourquoi utiliser les SIG en archéologie ?

Le développement des projets SIG en archéologie, notamment depuis les années 2000, s'inscrit dans un effet de mode indéniable. Mais si l'on met de côté l'adéquation qui semble évidente entre les fonctionnalités d'un outil et les besoins d'une discipline, on ne peut que faire le constat d'une « appropriation plus complexe de concepts et de méthodes » [Rodier, p19]. Les méthodes archéologiques d'inventaire et de quantification ont systématiquement une caractéristique spatiale car les données archéologiques sont toujours spatialisées. Autrement dit, l'archéologie est une science de l'information géographique [Costa, 2012] car l'archéologie [est] comme la résultante de l'activité cumulée sur des territoires d'organisations et d'acteurs qui poursuivent des objectifs propres avec des problématiques, des moyens et des outils différents. Ces organisations tendent vers un but commun minimal : la reconstitution des systèmes culturels du passé à partir des traces matérielles qui en subsistent. [...] C'est le rôle de l'archéologue que de comprendre ces marques « géohistoriques » (inscrites dans un lieu et à un moment donné). La recherche archéologique possède donc une « composante spatiale primordiale, inhérente à la matière qui est observée. » [Costa, 2012]. Ainsi les SIG, en tant qu'outil de gestion et d'analyse de

données spatiales (les 5a), permettent d'informatiser le traitement de l'information archéologique. L'utilisation des SIG dépasse la simple automatisation de procédés jusqu'alors manuels et deviennent de véritables outils d'aide à la recherche.

### **I-3-d SIG, outil d'aide à la recherche**

Les SIG sont un outil d'aide à la recherche dans les sciences historiques dans la mesure où ils permettent de créer des référentiels géo historiques. La notion de référentiel géo historique est défini par Costa [Costa, 2012] comme un « noyau d'informations géographiques permettant de localiser directement ou indirectement les données expertes produites par les chercheurs ». Un référentiel géo historique est donc un ensemble de couches de référence afin de géo référencer « sur des bases géographiques fiables des ensembles de données historiques possédant des références géographiques plus ou moins complexes à manipuler ». La question de référentiel géo historique remet en perspective la notion de fonds de carte. L'objectif d'un référentiel géo historique est de créer pour les programmes de recherche ayant une dimension spatiale, « un des socles élémentaires du partage des données » (Costa 2012). Plus largement, la mise en place d'un référentiel géo historique favorise l'interdisciplinarité autour de l'information spatiale en favorisant les principes de fédération et de mutualisation des informations.

### **I-3-e Matériel, outils logiciels**

Enjeu de la carte archéologique : L'utilisation d'un logiciel de dessin vectoriel, du type Adobe Illustrator, a montré ses limites pour la synthèse cartographique des données archéologiques de Grand. L'analyse spatiale des données demande une localisation précise des vestiges et des outils d'analyse spatiale.

Le SIG carte archéologique de Grand a été réalisé avec le logiciel ArcGis 10.1 et GlobalMapper13 pour s'harmoniser avec les outils logiciels de la cellule cartographique SIG du Conseil Général.

## **I-4 Problématique et plan du mémoire**

Le besoin de reprendre les données cartographiques de Grand est récurrent depuis le début du PCR. Le projet de SIG carte archéologique est né de cette demande. L'objectif de ce travail est de réactualiser la carte archéologique de Grand grâce à l'utilisation de l'outil SIG et ainsi de créer un géo référentiel commun à tous les travaux passés et à venir.

Dans une première partie, nous développerons l'état de l'art qui a mené à l'élaboration du projet de SIG à Grand. Les SIG font partie de la géomatique (informatique appliqué à la géographie). Les méthodes et connaissances autour des SIG ont été initiées par les géographes. Les traitements appliqués à l'information archéologique ont été inspirés des méthodes mises au point par les géographes.



Mais la diffusion dans le domaine archéologique implique des adaptations aux problématiques archéologiques. Des modèles adaptés à ces problématiques ont vu le jour et diffusés dans les disciplines géo-historiques. Dans une seconde partie, nous présenterons les différentes étapes de la mise en œuvre du SIG : étude préalable, définition détaillée, étude technique, réalisation et mise en œuvre.



## II- Etat de l'art : les SIG archéologiques : définition et spécificité de l'information archéologique

Informatique et géomatique<sup>6</sup> : le terme géomatique est un domaine particulier de l'informatique. Il est issu de la contraction des mots géographie et informatique. Les SIG font partie du domaine de la géomatique mais la géomatique ne se limite pas aux SIG. La géomatique a pour objet l'information géographique. L'information géographique peut être définie comme la représentation d'un objet ou d'un phénomène localisé dans l'espace. L'information géographique est traitée avec des approches très variées en fonction des métiers relatifs à la gestion et à l'aménagement du territoire. Cette variété dans les approches et les problématiques existe aussi en archéologie. On peut ainsi faire l'analogie entre les métiers de gestion et d'aménagement du territoire et l'archéologie préventive d'une part, et l'information géographique et l'information archéologique d'autre part. Il est donc possible d'appliquer à l'information archéologique les particularités de l'information géographique.

Métiers de gestion et d'aménagement du territoire	Archéologie préventive
Information géographique (IG)	Information archéologique (IA)

Tableau 1 : Analogie Information Géographique / Information Archéologique.

### II-1 Approche géographique des SIG

#### II-1-a Les géographes, premiers utilisateurs des SIG dans le monde universitaire

Les SIG et les méthodes d'analyse spatiale se sont développés en premier dans le monde anglo-saxon dès les années 1960 avec notamment Roger Tomlinson, considéré comme « the father of GIS » (Rodier, 2011, p.17). C'est lui qui utilise le premier l'expression « data for décision » pour parler des SIG. Très tôt les SIG sont utilisés par les organismes publics en charge du territoire. D'un point de vue global, l'approche géographique des SIG est largement prédominante dans le monde universitaire. Cela s'explique par le fait que les géographes ont été les premiers à s'intéresser à cet outil, bien avant les archéologues. Le développement de la géomatique en archéologie s'est fortement appuyé sur les travaux des géographes. Les méthodologie, savoirs, connaissances des géographes sur les SIG n'ont été diffusées à d'autres disciplines que plus récemment : ce n'est qu'à la fin des années 1990 que les premiers SIG apparaissent en archéologie. Les SIG précurseurs développés spécifiquement dans la discipline archéologique se situent dans le

<sup>6</sup> Définition du terme géomatique : voir glossaire.

monde anglo-saxons depuis la fin des années 1980 (Chapman, 2006) : ils suivent trois thématiques principales : GIS procédure and archaeology, GIS and landscape archaeology, GIS and Cultural Resource Management (CRM). En France, le réseau ISA<sup>7</sup> a largement participé au développement de modèles adaptés aux problématiques archéologiques, à la diffusion des méthodologies spécifiques à la géomatique et à l'analyse spatiale.

## II-1-b Méthode générale de définition du projet de SIG

L'approche géographique permet cependant de poser les bases à tout projet de SIG en délimitant son objet d'étude, sa thématique, son territoire. Dans (Pornon et al., 2011), tout projet de SIG est défini selon 3 axes :

-L'axe organisationnel et son contexte de mise en œuvre : à Grand, le SIG a pour vocation d'être utilisé par les différents acteurs du champ archéologique, à la fois dans une perspective de gestion et de recherche. Ces acteurs sont le Conseil Général des Vosges et plus particulièrement l'antenne archéologique de Grand. L'objectif organisationnel : Le SIG développé à Grand fait partie d'un projet SIG beaucoup plus large, à l'échelle départementale du Conseil Général des Vosges (service cartographique SIG). Les données archéologiques et patrimoniales seront versées dans le SIG départemental dans la partie culture. L'équipe archéologique est composée d'acteurs très différents (archéologues, étudiants, professeurs, spéléologues, géomètres etc.) qui travaillent sur des données selon des problématiques particulières. Tous les documents produits, c'est-à-dire toute l'information archéologique doit venir progressivement intégrer le SIG de Grand.

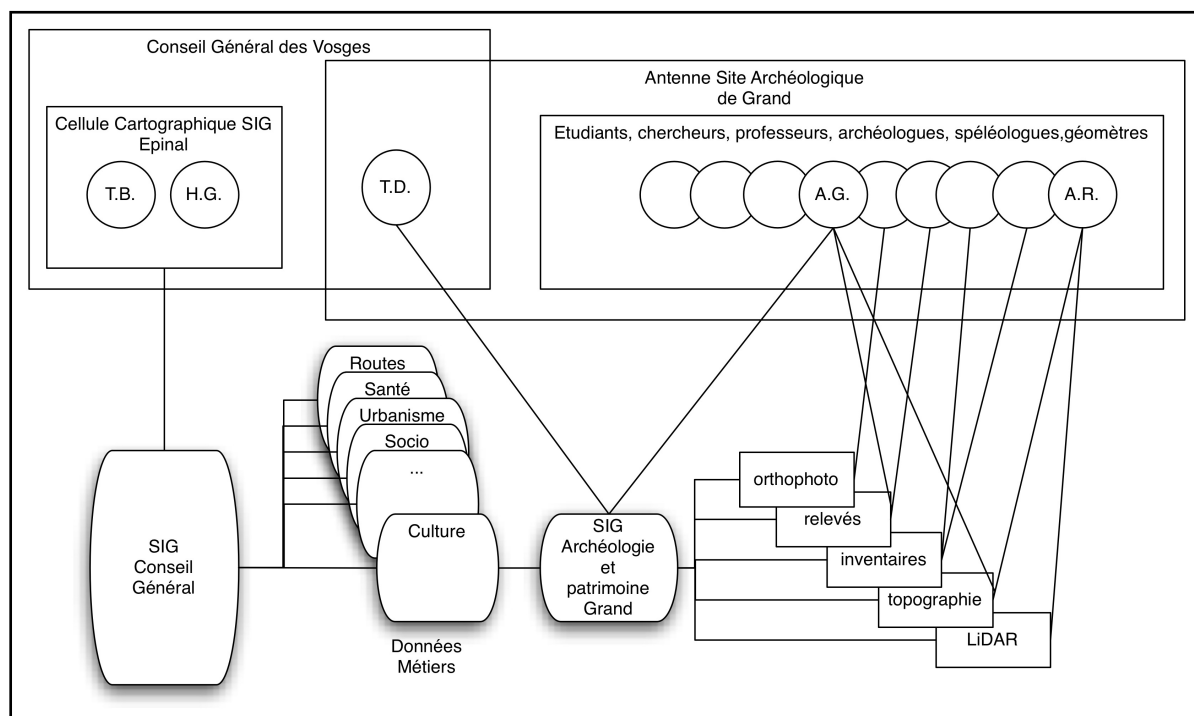


Figure 6 : les différents acteurs du SIG à Grand.

<sup>7</sup> Réseau ISA (Information Spatiale et Archéologie), voir glossaire.

Pour faciliter la mise à jour des données, une plateforme à distance (par accès internet) va être mise en place sur 2013/2014. Avant de pouvoir alimenter le SIG, il faut mettre en place la structuration des données concernant Grand. L'accès à distance devrait faciliter la gestion des données par les différents acteurs compétents dans leurs domaines respectifs tout en permettant leur mise en commun. Pour ce qui concerne le domaine archéologique, une transition est nécessaire : le SIG demande un minimum de formation pour que les acteurs soient opérationnels et acceptent de faire évoluer leurs habitudes. Cet accès distance va permettre aux acteurs spécialistes des données métier de gérer leurs propres données en direct tout en mutualisant l'information.

-L'axe territorial : les données archéologiques concernent quasiment exclusivement la commune de Grand. Les limites géographiques du SIG sont clairement établies. Quel rôle joue le territoire dans le projet de SIG ? Le territoire est défini comme un espace borné de petite échelle (échelle communale voire micro régionale).

Quels phénomènes territoriaux souhaite-t-on étudier ? L'accent est mis sur le développement historique et archéologique de la commune : on s'intéresse notamment aux problématiques de l'évolution du peuplement et de l'agglomération antique. Les objectifs pour le territoire visent la gestion archéologique et patrimoniale à l'échelle de la commune. Si les limites géographiques du projet sont clairement identifiées, il faut cependant avoir en perspective que les données archéologiques concernent un territoire bien plus vaste (nombreux sites dans tout le département). La modélisation doit être adaptée à terme à l'élargissement du territoire d'étude et à l'application à d'autres sites.

-L'axe thématique : quels domaines d'activités sont concernés par le SIG ? Les données de Grand vont être intégrées dans la partie culture du SIG départemental. L'intérêt de cela réside dans la possibilité à court terme de venir croiser les données archéologiques/patrimoniales avec tous les autres types de données (routes/réseaux/urbanisme...). Les données métier sont alors mutualisées et non plus isolées des données des autres services.

Ces informations sont nécessaires pour définir les limites du projet et assurer sa cohérence. Mais cette délimitation ne prend pas particulièrement en compte les spécificités des SIG développés dans le domaine archéologique.

### **II-1-c Planning et temporalité du projet**

Tout projet de SIG se décompose en différentes étapes spécifiques (figure 7). Ces étapes sont importantes pour ne pas passer à côté d'éléments essentiels. A chaque étape correspond un document de rendu qui témoigne de l'avancée du projet. Le cahier des charges met un terme à la première étape du projet qui vise à formuler les besoins. L'analyse de l'existant, du contexte, des risques et des enjeux vient constituer cette étude préalable à tout projet de SIG. Le dossier de conception est la deuxième étape : il consiste à définir le processus de projet, à modéliser les données. La 3<sup>ème</sup> étape est l'étude technique, accompagnée du dossier de réalisation. Il s'agit de définir les procédés de fabrication, la manière dont les données seront saisies, et de proposer un planning. Des tests sont effectués. L'étape 4 est le temps de la réalisation qui aboutit à la documentation du produit. A cette

étape, le produit est livrable. L'étape de réalisation comprend la saisie des données, la réalisation des bases de données, ainsi que les contrôles et validations nécessaires. La dernière étape est la mise en œuvre : le produit est livrable et mis en œuvre.

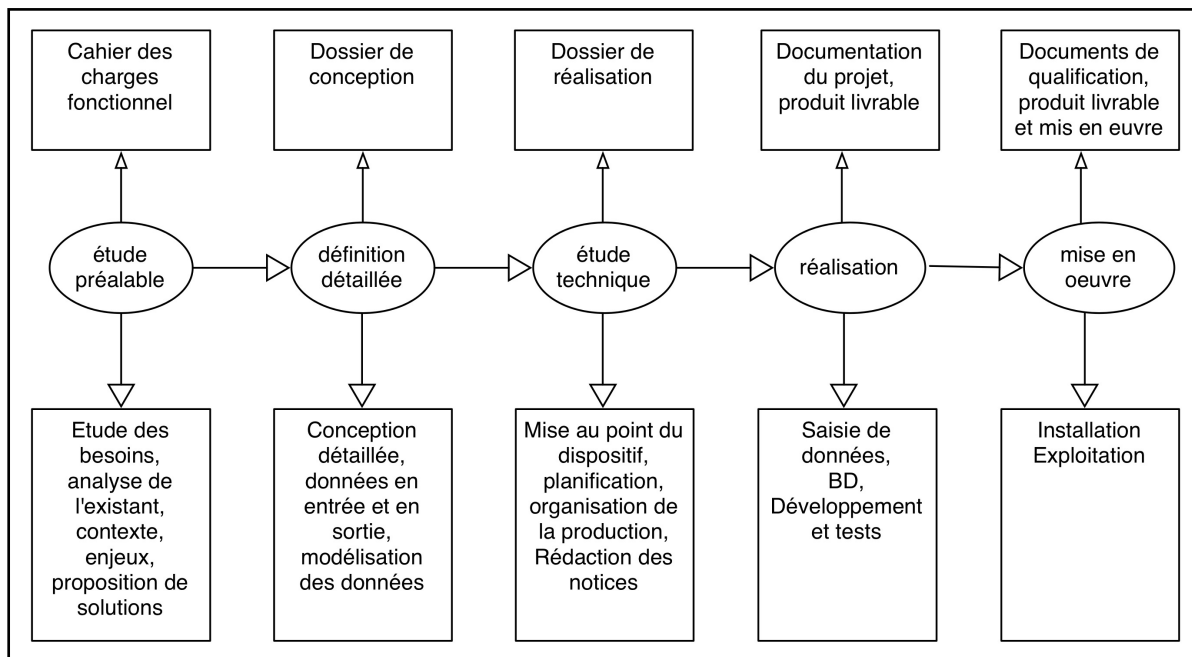


Figure 7 : schéma illustrant les étapes dans la gestion d'un projet de SIG (d'après Panet, Ravalet, 2001).

Le projet de SIG pour documenter la carte archéologique de Grand a suivi ces étapes de manière simplifiée. Les étapes ont été suivies mais les documents intermédiaires n'ont pas été rédigés spécifiquement pour chaque étape. Le mémoire est le document qui retrace ces étapes et le développement du projet pendant le stage.

## II-2 L'information archéologique : Données archéologiques et SIG.

### II-2-a Développement des SIG en archéologie

Dès le début des années 1990, les premières applications archéologiques des SIG sont apparues dans les pays anglo-saxons, aux Etats-Unis avec K.L. Kvamme (1989), K.M. Allen (1990), en Angleterre avec G. Lock (1995), Z. Stancic en Slovénie. En France, quelques travaux sont précurseurs dans les années 1990 dans les collectivités territoriales. Le développement SIG se fait vraiment à partir des années 2000 avec des projets en lien avec le réseau ISA : par exemple, ToToPi à Tours (Rodier, 2000), (Galinié, Rodier, Saligny, 2004), à St Denis (Heron, 2003), à Narbonne (Dellong, 2006).

Le recours au SIG pour l'archéologie permet l'informatisation du traitement de l'information spatiale (acquisition, sélection, représentation, et mise en page) et un fort potentiel d'analyse (en assurant le lien entre les volets sémantique et spatial de l'information archéologique et en ouvrant l'accès aux propriétés spatiales des entités archéologiques).

## II-2-b Processus archéologique avec et sans utilisation du SIG

Les processus d'enregistrement et de traitement de l'information archéologique à l'échelle de la fouille sont comparés avec et sans utilisation de SIG (Figure 8) (Rodier, 2011, p.28). Le processus avec SIG a l'avantage de créer un lien dynamique entre les couches de dessin et les données archéologiques au sein de l'outil SIG. L'information archéologique n'est pas dupliquée, elle conserve son intégrité et sa cohérence. Le processus sans SIG est encore largement utilisé en archéologie.

A Grand, l'utilisation des SIG est extrêmement récente et ne concerne que très peu d'opérations archéologiques<sup>8</sup>. Les quelques exemples d'opérations faites avec utilisation de SIG sont la fouille de la villa de la dite de la Fontainotte<sup>9</sup>, des travaux universitaires sur le LiDAR<sup>10</sup>, l'habitat des quartiers Nord<sup>11</sup>, les réseaux souterrains<sup>12</sup>.

---

<sup>8</sup> Opération archéologique, voir tableau des opérations archéologiques en annexe, Th. Dechezleprêtre, 2013.

<sup>9</sup> Fouille préventive menée par l'INRAP, opération n°35, 2010, dirigée par M. Gazeenbeeck.

<sup>10</sup> A. Resch, *Les traces fossiles à Grand (Vosges) à travers le relevé LiDAR*, mémoire de master, sous la direction d'O. de Cazanove, Univ. Paris I Panthéon-Sorbonne, 2011-2012.

<sup>11</sup> J.-M. Tur, *Habitat du secteur Nord de l'agglomération de Grand dans l'Antiquité*, mémoire de master ACTE, sous la direction de P. Nouvel, Université de Franche-Comté, 2008-2009.

<sup>12</sup> Cl. Brinon, *Etude de la ressource en eau du site gallo-romain de Grand (Vosges) et de sa gestion antique*, thèse de doctorat, sous la direction d'A. Tabbagh et V. Plagnes, Paris VI, 2012.

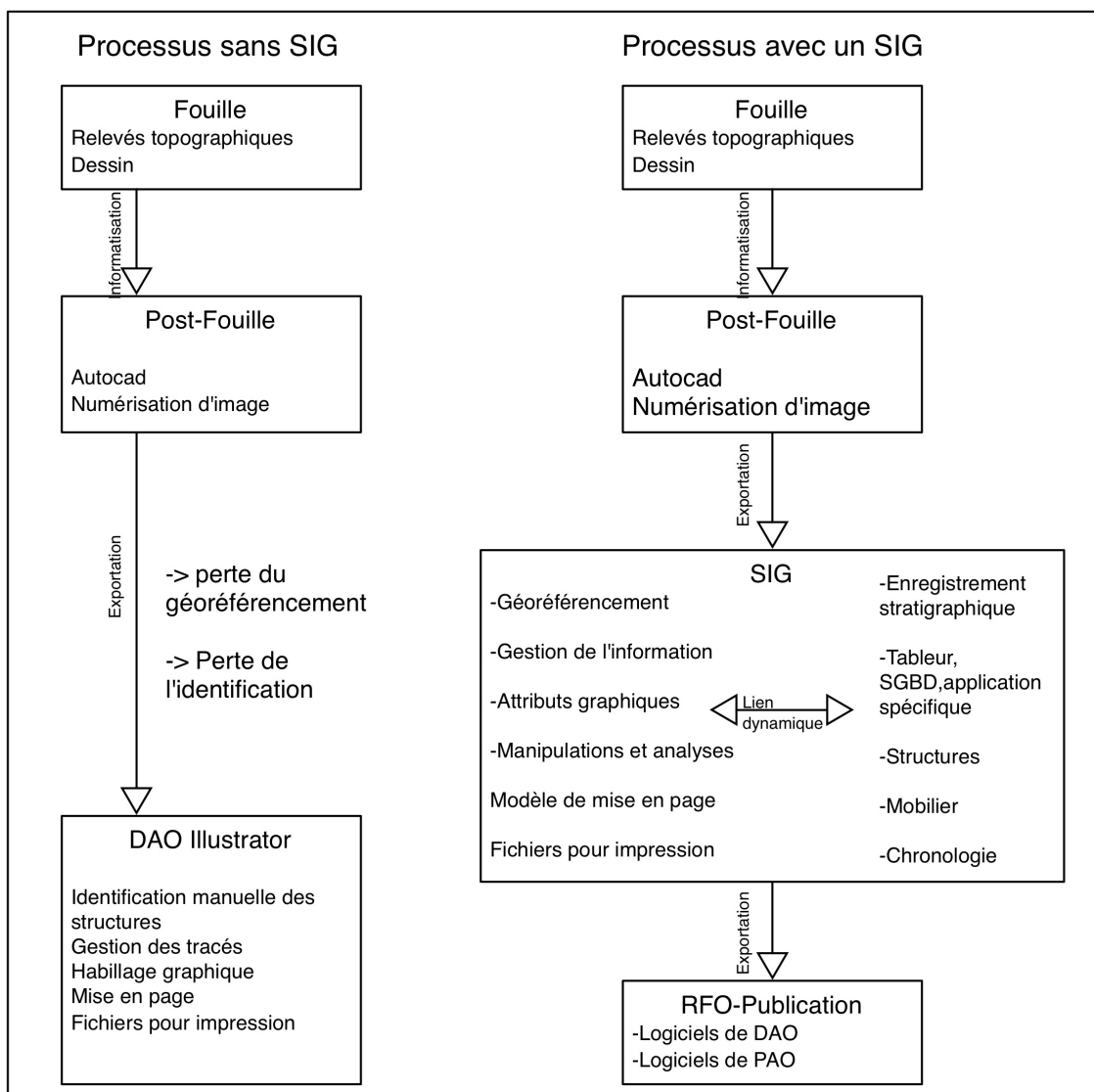


Figure 8 : comparaison des processus d'enregistrement et de traitement de l'information spatiale à l'échelle de la fouille avec et sans SIG (Rodier, 2011, p. 28)

Pour autant, la très grande majorité des opérations archéologiques à Grand ont été traitées sans utilisation de SIG. Ces opérations archéologiques ont suivi le processus traditionnel sans utilisation de SIG, avec un logiciel de dessin vectoriel (du type Adobe Illustrator) pour traiter les données issues de la fouille. L'inconvénient majeur de ce processus vient de la perte de géo référencement et d'identification des objets archéologiques.

Lors de la campagne de fouille programmée 2013 de la rue du Ruisseau<sup>13</sup>, le relevé des structures et des objets (céramique, monnaies, lapidaire etc) ont été géo référencés directement sous SIG<sup>14</sup> (figure 9). Cette évolution dans le processus

<sup>13</sup> Opération archéologique n°17, Th. Dechezleprêtre, 2010, fouille programmée, parcelle 184-185.

<sup>14</sup> A. Resch, A. Guillem, relevé des structures, des objets lors de la campagne 2013 par topographie et intégration dans le SIG de la fouille de la rue du Ruisseau, rapport de fouille 2013 en cours de rédaction.



archéologique se fait progressivement car il s'agit d'un chantier école. Les méthodologies de relevé traditionnel sont à la base de l'apprentissage du métier de l'archéologue. L'apprentissage du relevé (relevé à la main et reprise sous DAO, Illustrator) reste encore bien présent sur le chantier de fouille. L'utilisation du SIG a donc été testée cette année et progressivement adoptée.

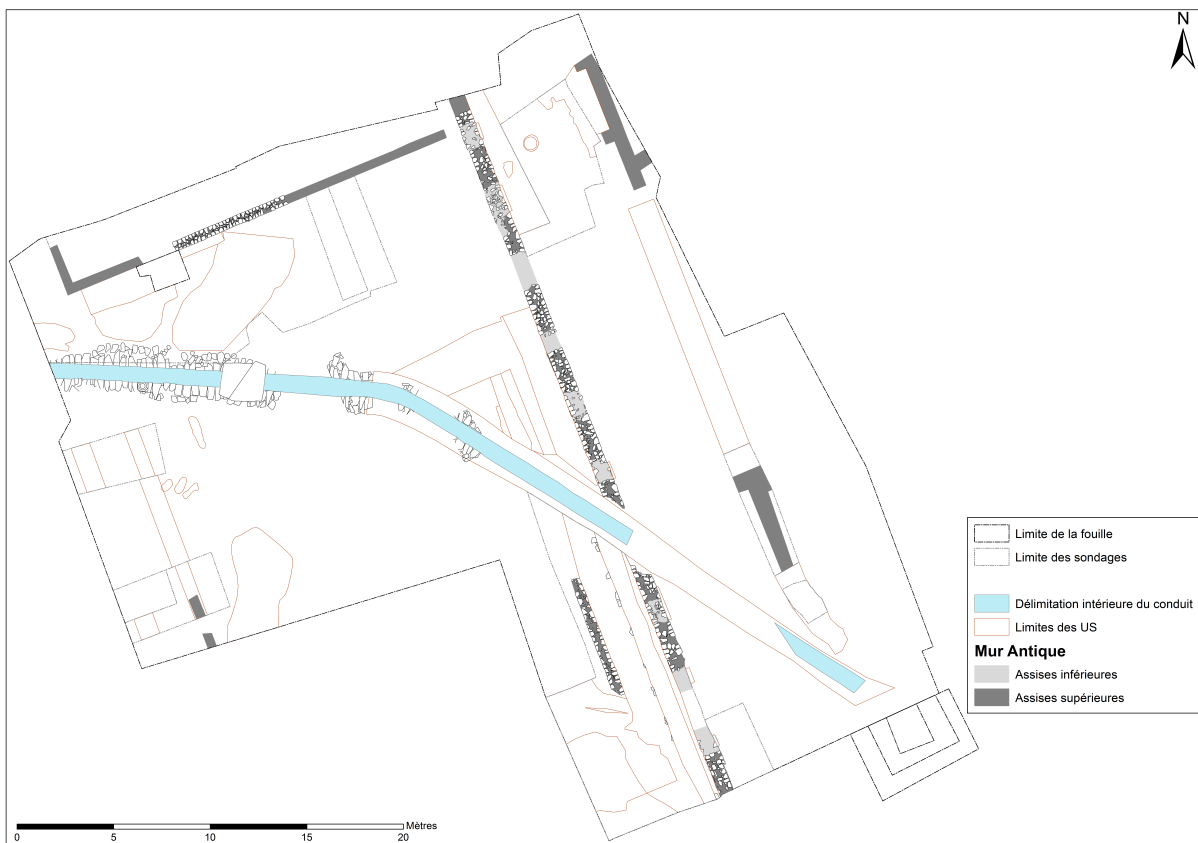


Figure 9 : Plan général (SIG) des structures archéologiques de la fouille programmée de la Rue du Ruisseau à l'issue de la campagne de fouille de l'été 2013 (A. Resch, A. Guillem).

## II-2-c L'Institut National de Recherche en Archéologie Préventive (INRAP) et les SIG en archéologie préventive

Sur les 700 km<sup>2</sup> touchés par des travaux d'aménagement du territoire, près de 20% sont fouillés dans le cadre de l'archéologie préventive<sup>15</sup>, ce qui correspond à 2000 diagnostics et environ 300 fouilles (Rodier, 2011, p.33). L'utilisation du SIG sur le terrain dans des conditions d'urgence a pour but de « faciliter, dans un cadre harmonisé, la convergence et l'appropriation de nouveaux outils et méthodes pour qu'ils permettent de restituer à la communauté scientifique les données qui ont été recueillies lors des interventions d'archéologie préventive, d'asseoir les résultats analytiques sur des corpus de documentation cohérents et correctement répertoriés ». A l'échelle nationale, la Direction Scientifique et Technique (DST) de

<sup>15</sup> Archéologie préventive, voir glossaire.

l'INRAP a défini dès 2005 une priorité sur la réflexion des apports des SIG en collaboration avec le laboratoire Archéologie et Territoires (UMR 6173 CITERES, Tours) et le réseau Information Spatiale et Archéologie (ISA). Une méthodologie a été élaborée afin d'utiliser les SIG comme outil d'aide à la recherche à l'échelle de la fouille. Ce processus a été testé en 2009 sur quelques opérations puis diffusé. Ce processus autour du SIG peut être traduit par un schéma (figure 5) composé de 4 étapes : le montage de l'opération, l'opération, la post-opération, et la publication/valorisation. Le processus s'appuie sur l'utilisation du SIG à toutes les étapes de manière intégrée. C'est cette méthode qui a été appliquée sur le SIG de la fouille de la Rue du Ruisseau dans les phases d'opération et de post-opération.

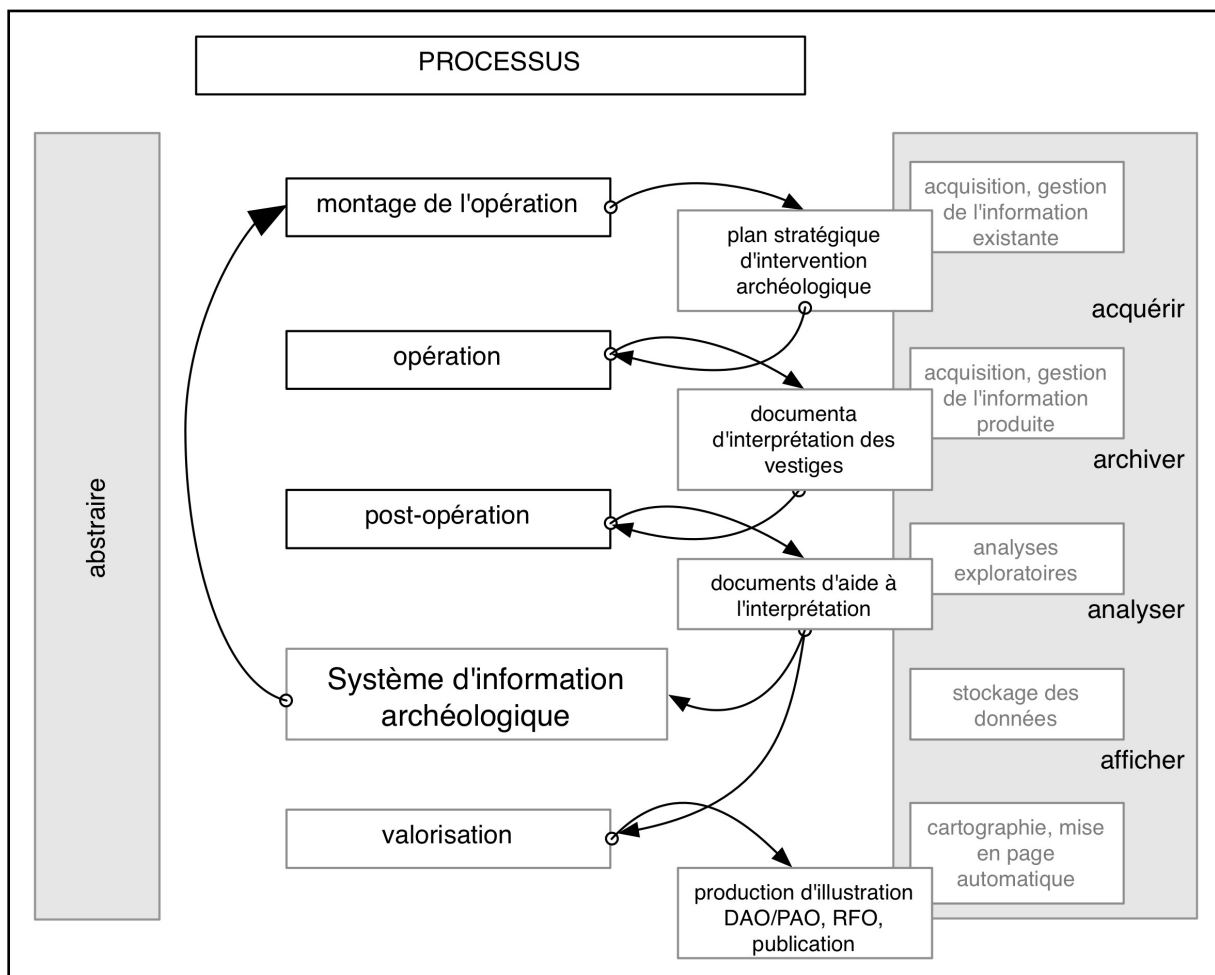


Figure 10 : Schéma général du processus SIG dans la procédure opérationnelle de l'INRAP. (Rodier, 2011, p.35)

## II-2-d L'observatoire des pratiques en géomatique

Laurent Costa, dans sa thèse de doctorat (Costa 2010), a dressé un état de l'art sur les pratiques géomatiques en archéologie en France et notamment sur les pratiques SIG. De ce travail est né GeoPratiq (Observatoire des pratiques géomatiques dans les Sciences historiques) qui est une base de données des projets géo-historiques développés par les différentes organisations de la recherche en Sciences humaines et sociales. Elle est présentée comme « un outil qui permet de mieux comprendre le

fonctionnement des systèmes d'information dans leur contexte d'utilisation, au travers des pratiques de leurs utilisateurs. Elle s'appuie sur une démarche qui est essentiellement fondée sur une vision qualitative et descriptive des projets et qui tient compte des différents aspects qui les composent : les objectifs scientifiques tels qu'ils peuvent être lus à la lumière de la documentation disponible, les organisations qui accueillent et participent à ces projets, les acteurs qui les mettent en œuvre et les technologies qui rentrent en jeu. »<sup>16</sup>

## II-2-e Outil d'aide à la recherche collaboratif

Pornon fait le bilan de 20 années de pratique de la géomatique (Pornon, 2007). Il insiste sur le caractère collaboratif des systèmes d'information géographique. Il argumente son propos en faisant référence à des études sociologiques telles que E. Wenger qui a travaillé sur la notion de communauté de pratique, définie comme « un groupe de personnes qui partagent un même intérêt pour une entreprise humaine et est engagé dans un processus d'apprentissage collectif qui les relie entre elles ». Cette notion s'appuie sur trois critères : l'engagement mutuel, l'entreprise commune et le répertoire partagé. On parle également de géocollaboration. Le recours à des travaux sociologiques pour décrire les processus à l'œuvre dans le travail avec les SIG est aujourd'hui complété par l'état de l'art de Costa (Costa, 2010) et la mise en place de l'observatoire des pratiques géomatiques en archéologies.

Cet observatoire a permis de mettre en évidence le caractère collaboratif des projets de SIG. Les projets sont construits sur « des principes de fédération et de mutualisation des informations » (Costa, 2012, p.341) autour de la notion de référentiel géo-historique.

Autour des SIG et de la géomatique, plusieurs forums internet sont très dynamiques : les plus connus sont GéoRezo<sup>17</sup> et Forum SIG<sup>18</sup> pour les forums généralistes, le forum spécialisé ArcGIS<sup>19</sup>, sites spécialisés par domaines (par exemple le site internet Ménéstrel<sup>20</sup> pour les géomaticiens et historiens médiévaux). Des revues comme *Sign@ture*<sup>21</sup>, *Histoire et Mesure* ou *Cybergéo (revue européenne de géographie)* ou *SIG La Lettre*<sup>22</sup> devenue *Décryptagéo (revue mensuelle des SIG)* sont des revues traitant des SIG et de géomatique.

---

<sup>16</sup> Site de Geopratiq : <http://pratiq.tge-adonis.fr/>

<sup>17</sup> <http://georezo.net/>

<sup>18</sup> <http://www.forumsig.org/forum.php>

<sup>19</sup> <http://forums.arcgis.com/>

<sup>20</sup> <http://www.menestrel.fr/spip.php?rubrique667>

<sup>21</sup> La revue intitulée "Sign@ture", éditée par le groupe Géomatique Nationale et Systèmes d'Information, traite selon son acronyme historique, de la Situation de l'Information Géographique Numérique dans l'Aménagement, les Transports, l'Urbanisme, les Réseaux et l'Environnement ([http://www.certu.fr/spip.php?page=article\\_theme&id\\_article=568&id\\_rubrique=156&lang=fr](http://www.certu.fr/spip.php?page=article_theme&id_article=568&id_rubrique=156&lang=fr))

<sup>22</sup> <http://sig-la-lettre.com/>

## II-3 Modélisation des données

### II-3-a Modélisation

Pour les géographes (Brunet, 1992), un modèle est « une représentation formalisée et épurée du réel ou d'un système de relations. Image de la réalité, le modèle est un « construit » qui passe par la simplification, l'abstraction ; il peut avoir pour buts l'action, la prédiction ou l'explication ».

La modélisation se décompose en trois étapes :

-la spécification du contenu, c'est-à-dire l'« identification de l'information du monde réel nécessaire et suffisante pour la description et la compréhension du phénomène étudié. Cette étape de définition de chaque domaine d'information et de ses propriétés nécessite l'identification de la partie du monde qui sera représentée dans le SIG, sa décomposition en sous-ensembles, l'inscription dans chacun de ces sous-ensembles des objets qui constituent des éléments de connaissances et d'explication du phénomène étudié et enfin l'identification des interactions et relations entre toutes les dimensions de l'étude. »

-le modèle logique : le modèle logique est l'étape de structuration et d'organisation des catégories d'informations identifiées au préalable en vue de leur intégration dans le SI. Il s'agit alors de transcrire les éléments spécifiés lors de l'étape précédente dans un langage de représentation. Quelque soient les logiciels utilisés ou les technologies choisies, le modèle reste valable en dehors des technologies.

-le modèle physique : le modèle physique est l'étape d'implémentation du modèle logique dans le système d'information. Dans la pratique, on distingue plusieurs étapes ;

-la définition des unités d'enregistrement spatiales.

-la mise en relation avec les différents systèmes d'enregistrement, c'est-à-dire le couplage d'une ou plusieurs bases de données avec le logiciel SIG pour accéder à toutes les informations depuis les objets spatiaux. Cela permet d'effectuer des requêtes dans les bases de données depuis le logiciel de SIG et de répercuter les mises à jour sans dupliquer les données tout en conservant les bases de données existantes.

La connaissance du domaine archéologique est nécessaire pour identifier les entités pertinentes.

### II-3-b Langages de modélisation

L'approche orientée-objet est la solution la plus adaptée pour la modélisation des phénomènes spatiaux-temporels mais la mise en œuvre pratique n'est pas aisée. La modélisation par Entité-Association a prouvé sa robustesse pour la mise en œuvre des bases de données. La méthode HDBS<sup>23</sup> est utilisée par l'IGN.

---

<sup>23</sup> HDBS, voir glossaire.

Le choix pour la modélisation pour le SIG de Grand s'est porté sur les diagrammes de classe UML2 car il est le langage le plus courant aujourd'hui.

L' UML (Unified Modeling Language) (Debrauwer, Van der Heyde, 2005) est un langage de modélisation, orientée-objet, des données de traitement. Ce langage est particulièrement adapté à la modélisation des objets spatiaux. Pour construire le modèle, il faut définir :

-les classes : elles constituent des groupes d'objets possédant une signification géographique, des attributs et des méthodes identiques (ex. vergers/forêt/tissu urbain peuvent former une même classe « occupation du sol »).

-les attributs : ils sont les variables qui permettent de décrire les objets de chaque classe.

-les relations et les cardinalités : une relation associe des objets d'une même classe ou de classes distinctes. Elle est caractérisée par un verbe et des cardinalités.

-la description géométrique avec 3 primitives graphiques : point/ligne/polygone.

### **II-3-c Modèle OH-FET (Objet Historique - Fonction, Espace, Temps)**

L'apport théorique du réseau ISA a été indéniable pour formaliser les problématiques posées par l'utilisation des SIG dans le domaine archéologique. Pour la modélisation des données dans leur dimension à la fois temporelle, fonctionnelle et spatiale, l'article « Modélisation des objets historiques selon la fonction, l'espace et le temps pour l'étude des dynamiques urbaines dans la longue durée » (Rodier, Saligny, 2010) pose des bases théoriques nécessaires. Le SIG de Tours (Totopi) (Rodier, Saligny, 2010), (Rodier, 2004), (Rodier, 2011) a été un des précurseurs dans la communication de la méthode de modélisation et la mise au point d'un modèle généraliste. L'objectif de cette modélisation est la compréhension d'un système complexe dans la longue durée. L'espace urbanisé ancien se définit archéologiquement par des figures irrégulières en taille et en épaisseur, avec une concentration de vestiges élevée. L'appréhension de l'espace urbanisé ancien se fait par l'objet historique (OH). L'OH s'inscrit dans trois dimensions :

-dimension fonctionnelle (usage social) ;

-dimension spatiale (localisation, étendue, et morphologie) ;

-dimension temporelle (datation et chronologie).

On parle alors du modèle **OH-FET (Objet Historique - Fonction, Espace, Temps)** (figure 11 et 12).

Tous les objets historiques relèvent de ces trois dimensions, quelque soit l'échelle considérée. Le modèle OH-FET permet d'aborder chacune de ces dimensions et toutes leurs combinaisons possibles. Chacune de ces dimensions est un objet complexe, composé d'objets simples (les entités fonctionnelles, spatiales et temporelles).

Le schéma conceptuel des données fondé sur le modèle OH-FET, respecte les spécificités de chacune des dimensions et les objectifs fixés. La fonction est organisée selon un modèle arborescent de typologies organisées selon des thésaurus (description des objets archéologiques). L'espace est déconstruit en entités spatiales. Le temps, considéré comme continu et linéaire, n'a pas fait l'objet, pour les SI, de modélisation spécifique. On propose de la modéliser par analogie à l'espace.

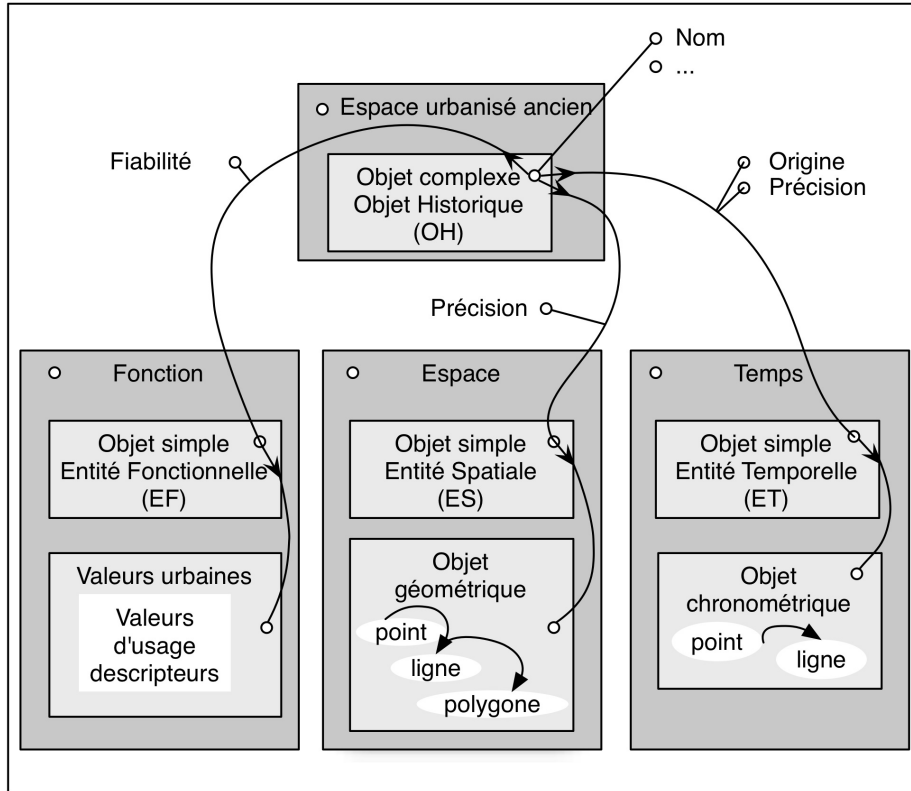


Figure 11 : Schéma conceptuel des données du modèle OH-FET de l'espace urbanisé dans la longue durée (modélisation en HDBS) (Rodier, 2011, p.69)

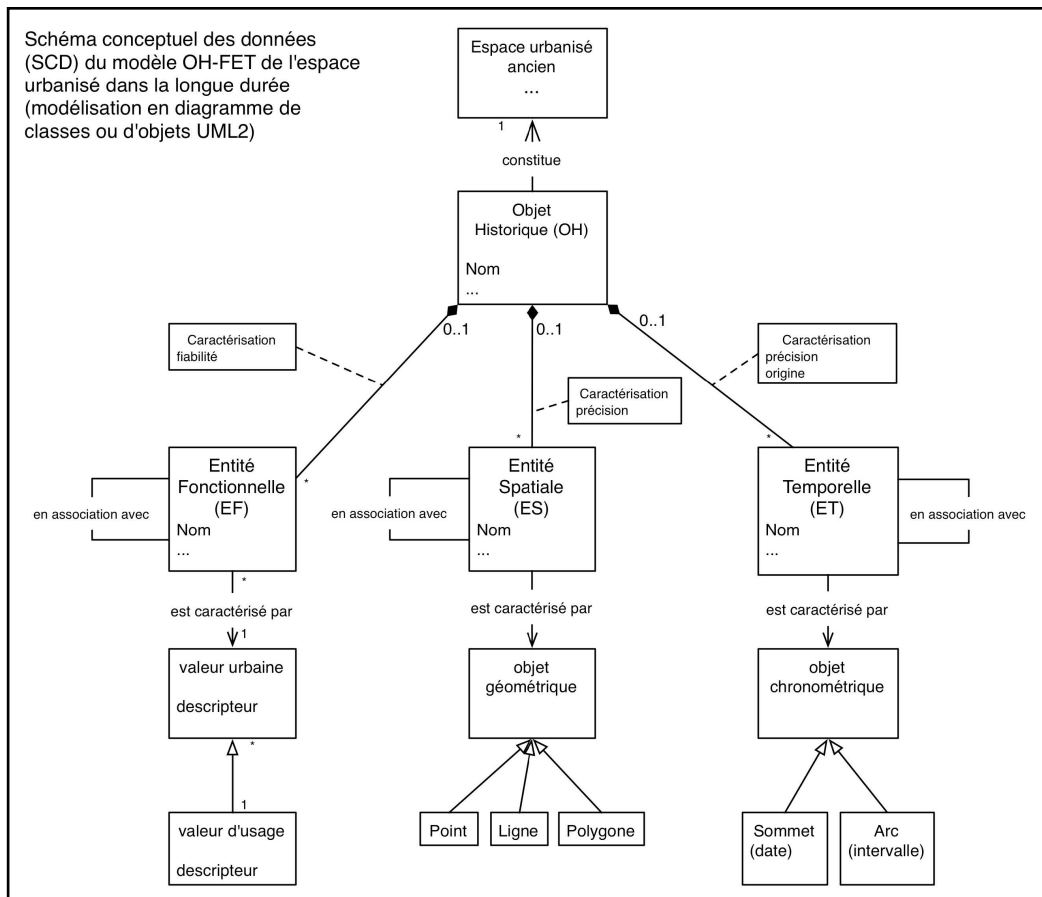


Figure 12 : Schéma conceptuel des données du modèle OH-FET traduit en diagramme de classe UML2.

## -Modèle théorique OH-FET

La conception de l'espace par les archéologues relève de la notion d'espace-support en géographie, sur lequel sont organisées les activités humaines. La dimension temporelle prend le pas sur la dimension spatiale car l'objectif est d'envisager une conception relative de l'espace intégrant le temps.

Pour être intégré dans un SIG, un objet archéologique doit satisfaire trois propriétés :

- être identifié ;
- être localisé ;
- être daté.

L'espace est décrit par différents formats (vecteur/raster) auxquels correspondent des structures de données différentes. Le choix dépend des objectifs. Le système complexe de la ville ancienne est constitué de trois dimensions qui caractérisent les Objets Historiques à l'échelle de la fouille comme à l'échelle de l'ensemble urbain.

L'objet historique (OH) est l'unité analytique de l'espace étudié. L'OH est déstructuré en trois composantes simples :

- l'entité fonctionnelle (EF) : l'approche fonctionnelle est une approche thématique organisée selon un thesaurus hiérarchisé ;
- l'entité spatiale (ES) : l'espace est l'ensemble le plus formalisé,
- l'entité temporelle (ET) : l'approche temporelle repose sur l'idée que le temps est considéré comme continu et linéaire. Sa modélisation est faite par analogie à l'espace en utilisant la topologie<sup>24</sup> temporelle définie en intelligence artificielle.

Cette décomposition permet de ne pas partir de la cartographie d'un phénomène à un temps t1 et de la comparer à un temps t2 mais de l'aborder indifféremment selon une entrée fonctionnelle, spatiale ou temporelle.

La modélisation est le résultat de trois étapes incontournables dans la démarche :

- la formalisation des objets de la topographie historique et la caractérisation des objets constituant le paysage urbain dans un espace support. La méthodologie est née des modes de classification archéologique et de la culture des bases de données relationnelles.
- la prise en compte des propriétés spatiales des objets historiques. C'est une étape de modélisation géographique des entités archéologiques selon une approche géographique de l'espace urbain. Cette étape coïncide avec l'appropriation par les archéologues de certains concepts de géographie et avec l'utilisation des outils SIG.
- l'isolation du temps dans les processus spatio-temporels. En faisant du temps une entité autonome vis-à-vis de l'espace.

Pour modéliser le SIG de la carte archéologique de Grand, le modèle OH-FET est une base de travail incontournable. Son adaptation en fonction des problématiques du site, des données et leur précision va être l'objet d'un modèle propre.

---

<sup>24</sup> Voir glossaire.

## II-3-d Thesaurus fonctionnel du CNAU

1.	<b>Voirie, aménagement</b>
11	Voies, rues
12	Espaces libres
13	Aménagement des berges
14	Aménagement du relief
15	Franchissement
16	Adduction d'eau
17	Collecteurs, évacuation
18	Monuments, vestiges
19	Edifice monumental indéterminé
2.	<b>Structures défensives et militaires</b>
21	Système défensif urbain
22	Structures fortifiées
23	Garnisons, casernements
3.	<b>Constructions civiles</b>
31	Espaces publics
32	Pouvoir civil, justice
33	Education, culture
34	Santé
35	Spectacles, sports
36	Bains, thermes
37	Habitat
4.	<b>Edifices religieux</b>
41	Cultes païens
42	Edifices cultuels catholiques
43	Bâtiments conventuels ou monastiques
44	Bâtiments ecclésiastiques
45	Cultes autres que catholiques
46	Eglises paroissiales
5.	<b>Lieux d'inhumation</b>
51	Aire funéraire
52	Cimetière paroissial
53	Lieux d'inhumation particulier
6.	<b>Lieux de commerce, artisanat, production</b>
61	Commerce, échanges, boutiques
62	Artisanat, ateliers
63	Agriculture, élevage
64	Manufacture, établissement industriel
65	Extraction, carrières
7.	<b>Formation naturelle</b>
71	Littoral
72	Cours d'eau (alluvions)
73	Marécage
74	Colluvionnements
8.	<b>Autres</b>
81	Indéterminé
82	Absence d'occupation attestée
83	Abandon
9.	<b>Hors urbain</b>
91	Etablissement complexe sans caractère urbain
92	Structure périphérique

Tableau 2 : Valeurs urbaines de 1 à 9 et valeurs d'usage de 11 à 92 d'après la grille du CNAU.



Le CNAU (Centre National d'Archéologie Urbaine) mène une réflexion depuis sa création en 1984 sur l'archéologie urbaine. Le thésaurus fonctionnel (tableau 2) défini par le CNAU permet de décrire de manière pertinente les données fonctionnelles des villes pré-industrielles. L'utilisation de ce thésaurus est adaptée à l'échelle urbaine.

Le CNAU a par ailleurs proposé un thésaurus chronologique découpant des périodes (tableau 3):

Avant -50	Avant la conquête de César
Haut-Empire	-50 au 3 <sup>ème</sup> quart du III <sup>ème</sup> siècle
Bas-Empire	Fin du III <sup>ème</sup> siècle à la fin du V <sup>ème</sup> siècle
Haut Moyen-Age	VI <sup>ème</sup> -XIII <sup>ème</sup> siècles
Moyen-Age	XIV <sup>ème</sup> -XIII <sup>ème</sup> siècles
Bas Moyen-Age	XIV <sup>ème</sup> -XV <sup>ème</sup> siècles
Moderne	XVI <sup>ème</sup> à la moitié du XIX <sup>ème</sup> siècle
Industriel	Depuis 1850

Tableau 3 : thésaurus chronologique CNAU

Les données de Grand ne permettent pas d'être vraiment plus précis en terme de chronologie. L'avantage d'utiliser ce découpage chronologique est d'intégrer immédiatement les données patrimoniales (Moderne, Industriel).



### **III- Mise en œuvre du projet de SIG carte archéologique de Grand**

La mise en œuvre doit toujours rester sous-tendue par les objectifs fixés :

- A quelles questions veut-on tenter de répondre ?
- Quel type d'analyse est susceptible d'y répondre ?
- Pourquoi choisir tel outil d'analyse plutôt que tel autre ?
- Les données présentent-elles les caractéristiques requises pour cette analyse ?
- Les données sont-elles correctement structurées pour subir ce traitement ?

Rappel des étapes dans la gestion d'un projet de SIG :

- Etude préalable
- Définition détaillée
- Etude technique
- Réalisation
- Mise en œuvre

#### **III-1 Etude préalable**

L'étude préalable est la première étape dans la mise en œuvre du projet de SIG. Elle aboutit à un cahier des charges fonctionnel comprenant une étude des besoins, une analyse de l'existant et du contexte, une définition des enjeux et enfin une proposition de solution.

##### **III-1-a Définition des besoins**

Plusieurs réunions ou rendez-vous ont été nécessaires pour poser les bases du projet de SIG avec l'archéologue en charge du PCR, Th. Dechezleprêtre, et le service cartographique du Conseil Général des Vosges, Th. Bauche et H. Groscolas. Sur le site de Grand, l'antenne du Conseil Général a en charge le PCR et la fouille programmée. Les archives du site sont en cours de numérisation et la documentation fait l'objet d'un axe dans le PCR : Base de données bibliographique, Base de données des objets sous Actimuséo en cours de réalisation (2013).

Au niveau du service cartographique du Conseil Général à Epinal, seuls les documents LiDAR et les prospections géophysiques (documents déjà géo-référencés) ont été récupérés pour intégrer le SIG départemental. L'intégration des données archéologiques demande une synthèse et une modélisation. Les opérations archéologiques ont été rassemblées dans un tableau<sup>25</sup> par Th. Dechezleprêtre. Ce tableau recense toutes les opérations archéologiques connues avec les informations suivantes : par exemple, l'opération de fouille programmée de la rue du Ruisseau est l'opération archéologique n°17, commencée en 2010 et dirigée par Th.

---

<sup>25</sup> Tableau en annexe

Dechezleprêtre est située Rue du Ruisseau, sur la parcelle de l'ancienne usine Lejeune, parcelles cadastrales 184/185. Les vestiges découverts sont variés et interprétés comme de l'habitat et des bâtiments publics.

Les entrées du tableau sont donc organisées avec les informations suivantes :

- NumOpeArcheo : il s'agit d'un numéro unique qui sert de clef dans le SIG et dans le tableau des opérations archéologiques. Cette clef permet de faire des liens entre les différentes couches graphiques. La couche OpeArcheo correspond à une échelle communale avec une précision de la parcelle.
- Type de représentation spatiale : point/ligne/polygone/raster
- Adresse : rue où se situe la parcelle.
- Lieu-dit : lieu-dit où est localisé l'opération. Parfois, le lieu-dit est la seule indication spatiale. Il s'agit d'une indication très peu précise.
- Année : date de début/fin de l'opération.
- Type de propriété : privée, publique.
- Nom du propriétaire (dans le cas d'une propriété privée) : information utile pour la gestion des recherches archéologiques, information confidentielle.
- Numéro de parcelle cadastrale pour identifier la grande majorité des opérations.
- Nom du responsable de l'opération : cette information permet de retrouver les documents d'archives (relevés, rapports de fouille, photographies...) de l'opération.
- Type d'opération : le terme opération archéologique regroupe une réalité assez hétérogène qui va de la découverte fortuite, du sondage, des prospections, des fouilles programmées/préventives etc.
- Vestiges : lors de l'opération des vestiges ont été observés, en quelques mots-clefs une description des découvertes.
- Interprétation : les vestiges induisent une interprétation fonctionnelle au niveau urbain. Par exemple, des vestiges de salles chauffées par hypocauste<sup>26</sup> sont l'indice de thermes.
- Bibliographie : les références bibliographiques concernant l'opération concernée.

Ce tableau Excel est la base du projet de SIG car il permet de partir d'un inventaire initial en faisant le lien entre les opérations archéologiques (données archéologiques et une localisation spatiale matérialisée par un point, une ligne, un polygone ou un raster). Ce tableau dénombre initialement environ 140 opérations. Ce tableau est évidemment incomplet et provisoire. Il s'agit d'un document de travail amené à évoluer avec le récolement des opérations archéologiques et des vérifications dans les archives.

---

<sup>26</sup> L'hypocauste est un dispositif destiné à «chauffer par en dessous» diverses salles du bâtiment. (Ginouves, III)

### III-1-b Questionnaire

Pour établir l'étude sur les besoins et les enjeux, un questionnaire<sup>27</sup> a été distribué à plusieurs acteurs en rapport avec des données archéologiques de Grand. La diffusion du questionnaire a été faite via un dossier de partage en ligne (GoogleDrive). Les acteurs qui ont répondu à ce questionnaire sont Th. Dechezleprêtre, conservateur responsable du PCR, A. Resch, doctorante spécialiste du LiDAR, SIG et de la topographie, J.-M. Tur, archéologue et topographe.

Ces acteurs ont travaillé sur des données cartographiques et ont eu à gérer des données. Leurs connaissances des SIG sont diverses : A. Resch et J.-M. Tur ont une bonne connaissance de cet outil tandis que Th. Dechezleprêtre ne l'utilise pas encore. Leurs réponses ont contribué à établir un état des lieux sur les données cartographiques, leur gestion et les besoins.

Comment est organisé ce questionnaire ? Le questionnaire est organisé en 5 parties :

- 1-Missions ;
- 2-Données utilisées pour remplir les missions ;
- 3-Gestion des données ;
- 4-Matériel ;
- 5-Mise en place du SIG.

### III-1-c Analyse des besoins (analyse des réponses, synthèse)

Le questionnaire a été rédigé et diffusé sur internet. Les réponses sont automatiquement enregistrées dans un tableau de synthèse où l'on peut comparer et analyser les réponses. Les réponses étant peu nombreuses, elles sont présentées en annexes sous la forme d'une interview (question/réponses).

Le questionnaire fait ressortir plusieurs points importants dans le projet de SIG : voici une synthèse des réponses au questionnaire par parties :

Partie 1, sur les missions. Les missions sont variées et les problématiques pointues. Les missions sont souvent le plus souvent uniques (études thématiques, travaux universitaires, masters, doctorats). De nombreux acteurs travaillent donc en parallèle sur les données archéologiques de Grand. Le résultat de ces travaux prend la forme de rapports, de cartes, d'inventaires/tableaux. Toutes les données archéologiques produites demandent à être synthétisées et intégrées au SIG du site de Grand. Le passage des données personnelles au SIG pose certains problèmes récurrents (question 1h-réponse JMT) : la distance avec le service cartographique du Conseil Général, les différences d'attentes et de connaissances/méthodes entre archéologues et « sigistes »<sup>28</sup>.

---

<sup>27</sup> Questionnaire en annexe

<sup>28</sup> Néologisme (jargon) pour désigner les spécialistes des SIG.

Pour la partie 2, sur les données utilisées pour remplir les missions. Malgré des travaux avec des thématiques différentes, les acteurs ont en commun des documents sources : les fonds de carte (cadastre napoléonien, cadastre actuel, cartes anciennes, cartes de prospection, données LiDAR) certains en vectoriel ou d'autres en raster. Les différentes études ont en commun l'espace de la commune et donc les données cartographiques partagent le même espace ; les échelles de travail vont de l'échelle de détail, à l'échelle de la commune. Ces données cartographiques qui servent de référence ont besoin d'être structurées pour être utilisées par les archéologues. Les données sont en partie produites avec une charte graphique mais ce n'est pas systématique.

Partie 3-Gestion des données ; chaque acteur expert est responsable de ses données et les gère personnellement. Les mises à jour sont faites au niveau du site et du responsable d'opération (question 3b). Les données ne sont actuellement utilisées que par le site de Grand, il n'y a pas de partage ou de mutualisation des données archéologiques ni au niveau universitaire ni au niveau départemental.

4-Matériel. L'équipement en ordinateur est courant pour tous les acteurs. Les chercheurs produisent des bases de données ou des SIG pour répondre à leurs problématiques archéologiques. La connaissance des outils informatiques et de leurs enjeux pour la recherche archéologique est soit bonne soit excellente, selon les acteurs.

5-Mise en place du SIG. Les acteurs savent ce qu'est un SIG et les attentes sont fortes (questions 5e et 5f). Parmi les objectifs attendus, il y a une volonté de gestion autonome de la mise à jour des infos de la carte archéologique et de s'approprier le SIG pour l'enrichir directement. Une charte/guide d'utilisation et/ou un document de normalisation sont nécessaires à la transmission du projet. L'accent est mis sur les pièges à éviter : « attention à ne pas monter une usine à gaz ! » (question 5g réponse JMT), la modélisation des données doit être claire et synthétique. L'accumulation de couches graphiques peut poser problème à la longue. La modélisation est l'un des enjeux premiers et doit répondre aux besoins des archéologues. La formation des acteurs, l'accompagnement du projet et l'implication des acteurs sont les clefs de la réussite du projet de SIG.

### **III-1-d Mise en œuvre de la collecte des données**

Les données à collecter :

- Les données archivées à Grand sont majoritairement conservées sur disque dur et sur le serveur de Conseil Général.
- Les données conservées par les acteurs : la récupération des données nécessite parfois de contacter les acteurs directement. Le transfert des données via Internet a largement facilité la collecte.
- Les données en cours de traitement ou d'acquisition : par exemple, le relevé des puits et des regards d'égout par un géomètre (2013). Leurs coordonnées n'ont été récupérées qu'à la fin du mois d'Août 2013. Le relevé est accompagné d'un rapport

de mission des géologues qui ont explorés plusieurs puits et galeries souterraines pendant le mois de juillet 2013 (P. Fattet et J.-J. Gaffiot).

- Les archives de Grand : la numérisation des documents d'archive dépend de leur format. Les petits formats (A4/A3) peuvent être numérisés sur place, tandis que les grands formats doivent être transportés soit à Nancy (ENSAN) soit à Epinal (Conseil Général) pour être scannés. Les archives numérisées constituent une source de documents très importante : les documents numérisés sont archivés sans modification sur le serveur du Conseil Général dans un premier temps. Ils sont dupliqués ensuite pour être intégrés dans le SIG et modifiés.



Figure 13 : plan de synthèse du Jardin Huguet et de la Mosaïque, archives de Grand.

## III-2 Définition détaillée

### III-2-a Dictionnaire des données

Les données récoltées sont de formats différents. Selon leur format et le type de données, le procédé d'intégration dans le SIG sera différent. Voici une typologie des données disponibles à Grand :

- Les données déjà géo référencées<sup>29</sup> (.shp ; .shx ; .dbf ; .prj) il s'agit des données produites par Cl. Brinon, J.-M.Tur, A.Resch, les données de la fouille INRAP de la Fontainotte ; ce sont des données récentes. Leur intégration dans le SIG ne pose pas de problème. La principale difficulté est de déterminer le système de projection utilisé. Les entités spatiales sont déjà existantes, il faut ensuite ajouter les données attributaires correspondant à la modélisation du SIG carte archéologique. La difficulté d'intégration des données géo référencées provient de leur modélisation propre. Ici (figure13), il s'agit d'une couche de données extraite du travail de J.-M.Tur sur l'habitat. Les structures (en rose) sont interprétées comme des murs, d'après des prospections géophysiques : chaque chercheur crée ses propres données et ses propres cartes de synthèse. Pour les intégrer dans la carte archéologique, il est nécessaire de les vérifier pour éviter toute duplication de données. Ce travail de recouplement des données entre les différents travaux/archives/documents est le plus long dans le processus d'intégration des données déjà géo référencées.

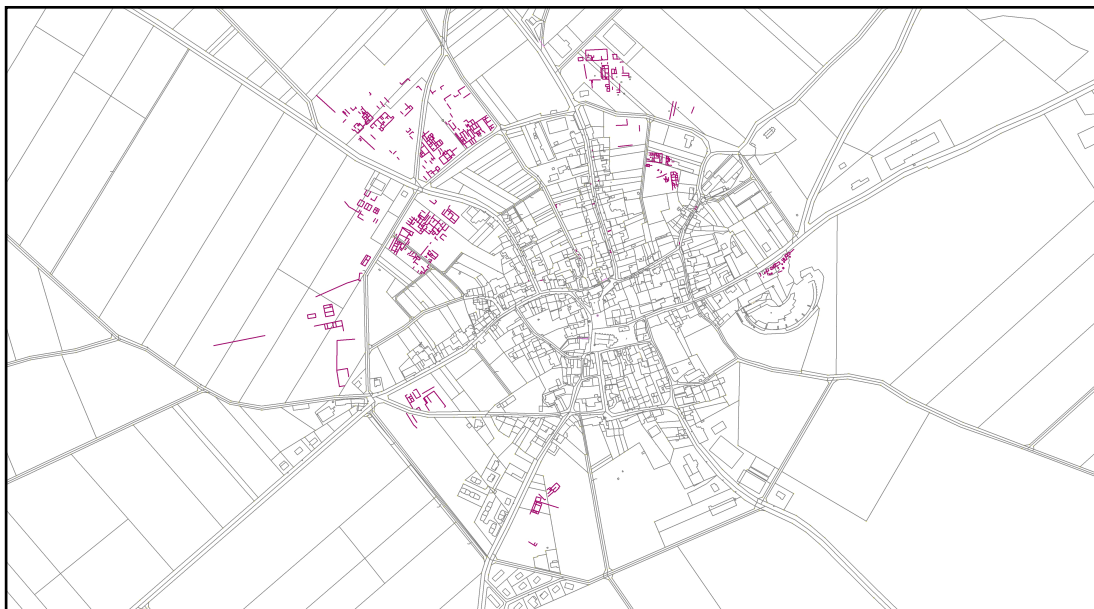


Figure 14 : export de la couche « Murs », interprétations à partir des prospections géophysiques, avec le cadastre actuel en fonds de carte. Données J.-M. Tur.

---

<sup>29</sup> Formats de fichiers SIG :

.shp— les formes ; les entités géographiques elles-mêmes ;

.shx— l'index de formes ; un index basé sur les positions des entités géographiques ;

.dbf— les attributs ; les données attributaires associées à chaque forme, au format dBase III ;

Les fichiers optionnels possibles :

.prj — la projection ; le système de coordonnées et l'information de projection, un fichier texte décrivant la projection utilisant le format texte.



- Les données de type image : tous les documents papier une fois numérisés sont des documents image (format .tiff ou .jpeg) qu'il faut géo référencer c'est-à-dire recaler dans l'espace de la commune. Par exemple, ce plan de synthèse (figure 14) (Bertaux C., 1985) reprend les différents éléments archéologiques étayant l'hypothèse de la présence d'une porte monumentale située au niveau de l'actuelle rue de l'amphithéâtre.

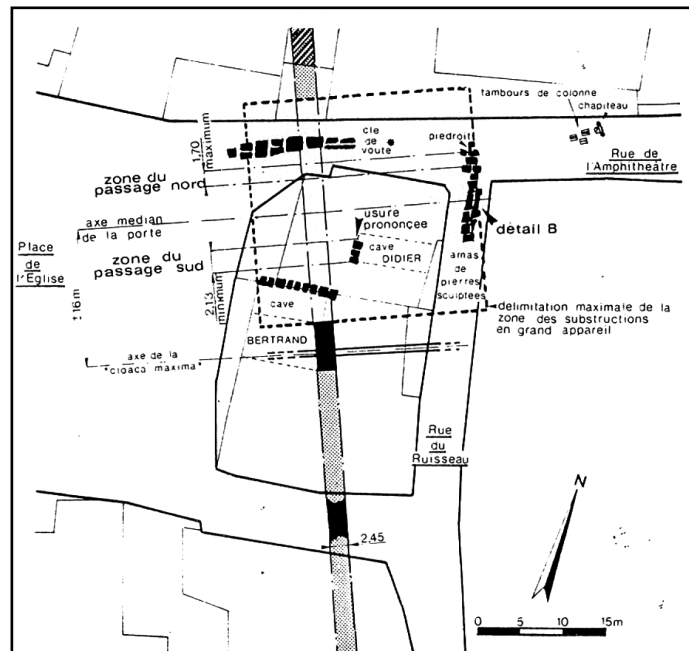


Figure 15 : plan de synthèse des indices archéologiques témoignant de l'existence de la porte monumentale, (Bertaux Ch., 1985).

- Les données de dessin vectoriel (Ai) : les plans de fouille dessinés sous Adobe Illustrator ne sont pas géo référencés. Il faut, comme pour les données de type image, les recaler.

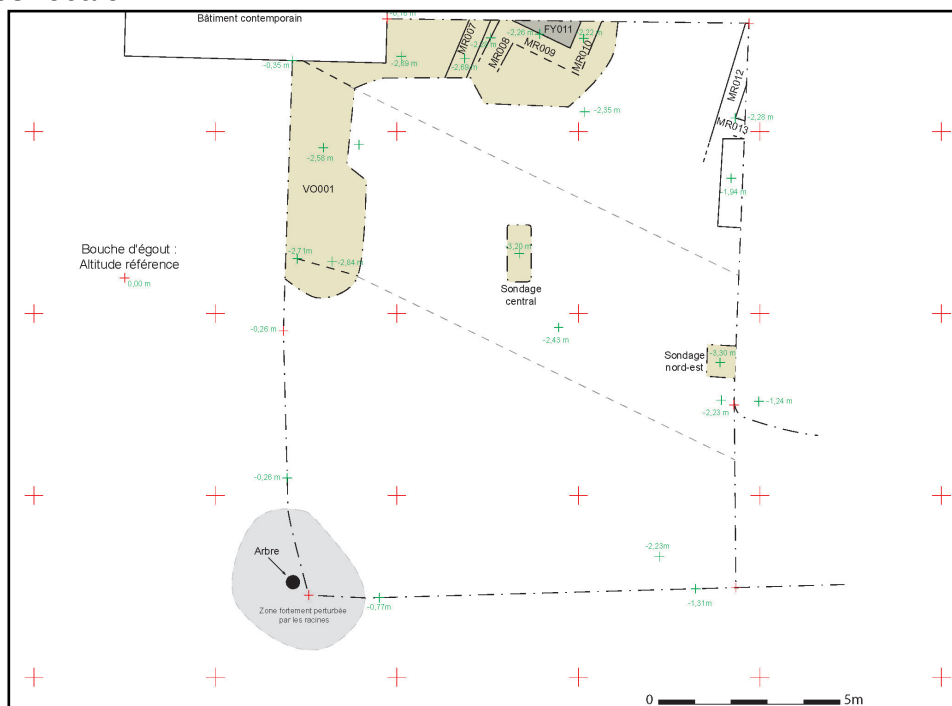


Figure 16 : relevé de plan de fouille, opération n°18 située rue Houillon, fouille préventive menée par ANTHEA en 2007 sur les parcelles 936/146.

- Tableau de coordonnées : les coordonnées relevées par un topographe ou par un géomètre ne posent aucun problème d'intégration dans le SIG puisqu'il suffit de transformer les coordonnées (x ; y) en points dans l'espace dans le système de projection adéquat. Par exemple, voici (tableau 4) un extrait du tableau qui recense les bouches d'égout de Grand :

N° puits	Localisation (coordonnées LII CENTRE)		Type	Adresse
	LAT	LNG		
200	1884446.90	7245875.62	regard d'égout	rue de l'amphithéâtre
201	1884445.60	7245879.56	regard d'égout	rue de l'amphithéâtre
211	1884362.80	7245831.71	regard d'égout	rue de l'amphithéâtre
214	1884314.16	7245780.01	regard d'égout	rue Houillon
215	1884291.64	7245809.26	regard d'égout	rue Houillon
216	1884289.00	7245831.29	regard d'égout	rue Houillon
217	1884281.73	7245866.72	regard d'égout	rue Houillon
218	1884271.14	7245903.36	regard d'égout	rue de la Chapelle

Tableau 4 : extrait de l'inventaire des regards d'égout, 2013. Coordonnées en Lambert II Centre (voir glossaire Lambert).

### III-2-b Modèle conceptuel des données

Le modèle conceptuel des données du SIG de la carte archéologique de Grand (figure 13) est une adaptation du modèle OH-FET (figures 11 et 12) qui a largement montré sa capacité à répondre aux problématiques archéologiques des dynamiques urbaines dans la longue durée. Les problématiques d'une carte archéologique sont très proches tant dans la modélisation des objets que dans les échelles considérées.

Le principal élément d'adaptation réside dans l'ajout de l'entité « opération archéologique » qui a une géométrie spatialisée (point, ligne, polygone ou raster) avec une emprise, par exemple, une limite de sondage. Cette emprise ne coïncide pas avec l'objet historique, il le recoupe seulement.

Les entités ayant une géométrie spatialisée sont les opérations archéologiques et les entités spatiales (ES) formant les objets historiques (OH). Les premières sont liées aux conditions de la recherche (emprises de sondage, travaux, lieu de découverte fortuite ; il s'agit donc d'entités contemporaines de la recherche) tandis que les secondes sont les vestiges témoins de l'occupation ancienne. Les unes conditionnent donc la connaissance des autres.

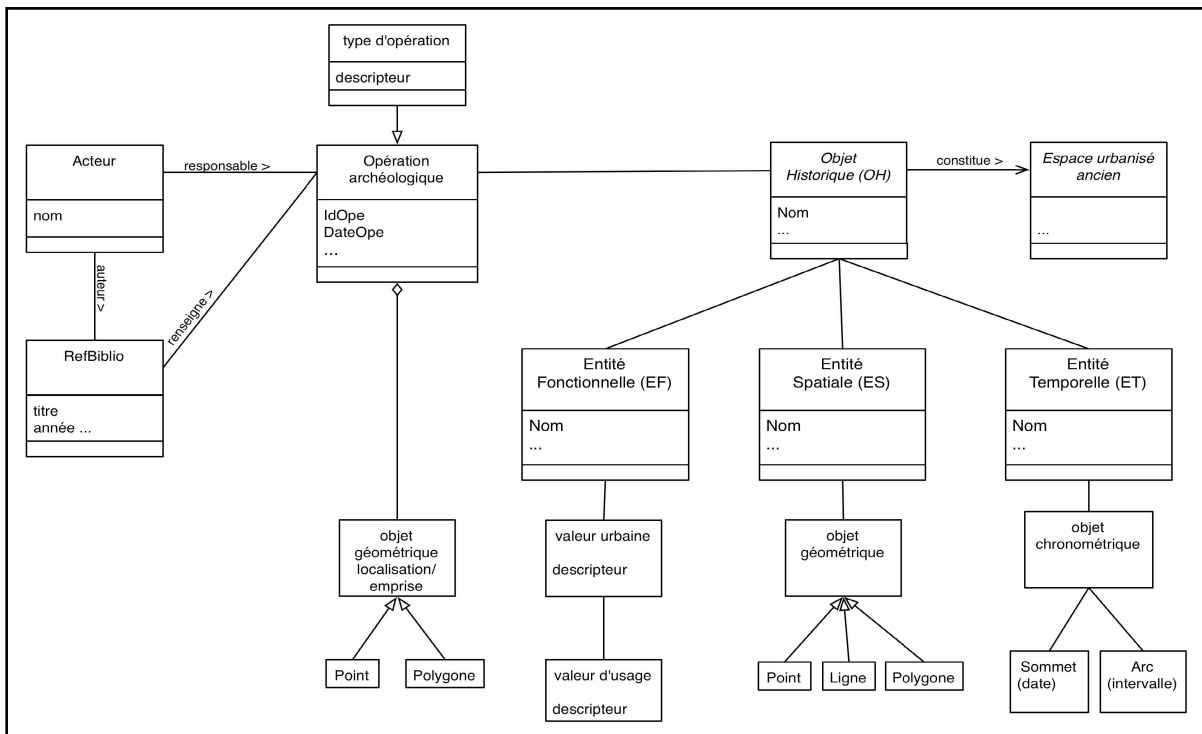


Figure 17 : Schéma conceptuel des données du SIG de Grand exprimé en diagramme de classes UML.

### III-2-c Modélisation des données dans le SIG

Dans un SIG, il faut partir de l'entité spatiale géométrique pour intégrer les données attributaires.

La couche « opérations archéologiques » (OpeArcheo) a été structurée de la manière suivante : le choix s'est porté sur la classe d'entité Point. Cette couche permet une visualisation à l'échelle de la commune de toutes les opérations archéologiques et leur localisation. Cette couche d'entités « Point » ne peut intégrer les emprises du type Polygone. Les couches ne peuvent avoir qu'un seul type de géométrie. Les emprises doivent être créées dans une autre couche d'entités : cette couche s'appelle « Emprise » (type polygone). Dans les données attributaires, c'est le champ NumOpeArcheo (numéro d'opération archéologique) qui permet de faire les jointures.

De même lors de la numérisation des plans d'opération, les objets géométriques formant les Entités spatiales ont un numéro d'identification propre (objectID) mais le champ NumOpeArcheo permet de faire le lien entre les vestiges et l'opération pendant laquelle ils ont été découverts. Ce champ joue le rôle de clef étrangère.

### III-3 Etude technique

#### III-3-a Planning et avancement.

Le projet de SIG carte archéologique a été présenté comme une des priorités du PCR pour l'année 2013 par le Conseil scientifique (octobre 2012). La mise en œuvre du SIG lors du stage au MAP-CRAI lors du deuxième semestre de l'année scolaire a été préparée en amont par de la bibliographie et des entretiens avec différents utilisateurs chevronnés de SIG. Pendant le stage au MAP-CRAI, ce sont les étapes de définition préalable, de définition détaillée et d'étude technique qui ont été menées à bien. La phase de réalisation et d'alimentation a été commencée lors de la campagne de fouille programmée à Grand pendant le mois de Juillet 2013. Cette étape n'est pas complètement aboutie à l'issue du mémoire et du stage de recherche.

#### III-3-b Tests et tests logiciels

Pour la constitution de bases de données spatiales, nous avons testé PostGreSQL 9.2 et PostGIS 2.0. Les raisons de ce choix viennent du fait que PostGreSQL est un outil opensource et qu'il est très répandu au niveau mondial pour l'utilisation avec SIG. PostGreSQL a une extension PostGIS qui permet de manipuler les informations géographiques (spatiales) sous forme de géométries dans la BDS. La construction de la base de données spatiales (BDS) à partir de l'interface pgAdmin II.

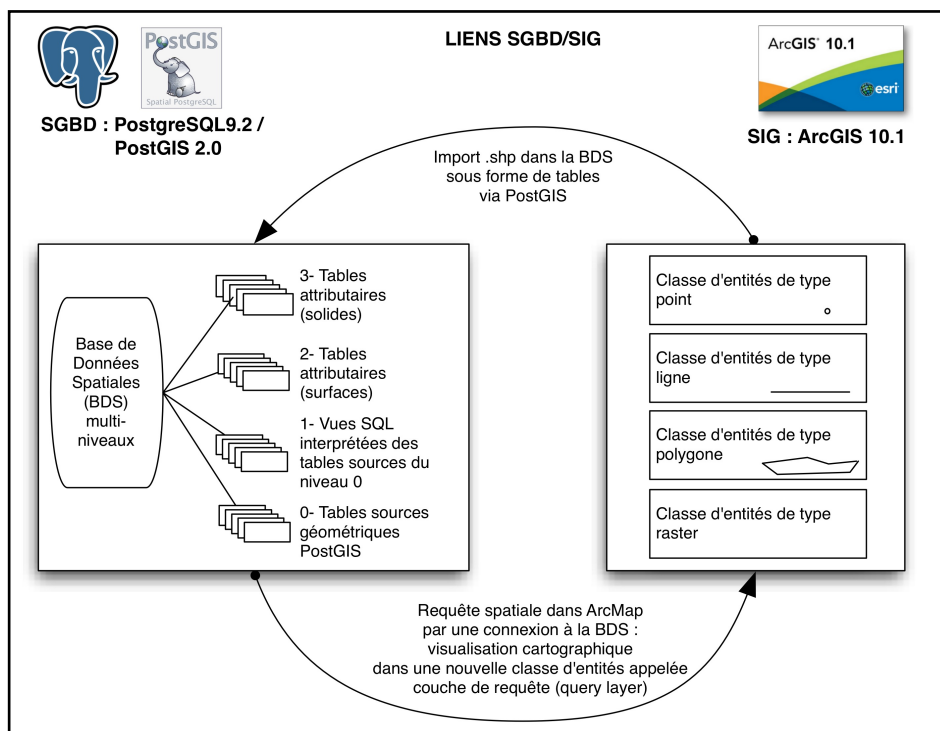


Figure 18 : Schéma des liens entre SIG et SGBD.

Le choix a été fait de ne pas créer une base de donnée spatiale indépendante mais de développer au maximum la part cartographique sous SIG. Les données attributaires essentielles sont modélisées dans le SIG et à terme pourront être ajoutées des bases de données complémentaires. L'objectif est de ne pas surcharger le SIG mais de créer une architecture suffisante à intégrer progressivement les informations relatives à la carte archéologique de Grand.

Par ailleurs, le logiciel Arcgis permet de créer en interne une « géodatabase » c'est-à-dire une base de données spatiales.

### III-3-c Méthodes/Procédés de saisies de données

#### -Ajout d'information attributaire dans une couche :

Pour la création de champs attributaires, le fonctionnement est identique à n'importe quelle base de données à la différence près que la donnée est une géométrie spatialisée.

La couche OpeArcheo (« opérations archéologiques ») a été créée pour la localisation des opérations sous forme de points. Chaque entité géométrique est renseignée par :

- Date : la date de l'opération (année)
- TypeOpe (varchar)
- Responsable Ope (varchar)
- Précision : chiffre (short integer) avec une codification pour faciliter la saisie des données. :

- 0 : parcelle ;
- 1 : recalage graphique ;
- 2 : indications autres ;
- 3 : topographie ou GPS ;
- 4 : données SIG.

- Source : le document-source qui a permis d'ajouter cette information. Ce champ permet un vérification *a posteriori*.

Il est primordial de renseigner les données attributaires de tous les objets géographiques créés afin à terme de pouvoir croiser les données et d'effectuer des jointures.

#### -Création de points à partir de coordonnées x ; y

Par exemple, pour les regards et puits, il existe un tableau de coordonnées et un tableau descriptif. Une jointure est possible après chargement des coordonnées des points pour les infos attributaires. La difficulté n'est pas dans l'ajout d'information mais l'ajout d'information vérifiée, classée, normalisée pour pouvoir retrouver les informations et les recouper.

-Une multitude de manipulations de données est possible avec les SIG, comme l'intégration données lidar DTM<sup>30</sup> : dans l'arc tool box, conversion tool, to raster ascii. Mon travail sur le SIG s'arrête où l'analyse commence. Les transformations sur les données seront faites ultérieurement.

### III-4 Réalisation

*« La différence entre la théorie et la pratique, c'est qu'en théorie, il n'y a pas de différence entre la théorie et la pratique, mais qu'en pratique, il y en a une. »*  
Jan van de Sneptscheut

#### III-4-a Saisie des données : campagne 2013

##### Géoréférencement des opérations archéologiques

Dans la couche des opérations archéologiques « OpeArcheo », il y a des points qui ne portent pas encore de numéro : il s'agit d'opérations en cours de vérification. Chaque chercheurs créant sa propre base de donnée, il est nécessaire de vérifier que l'information est réellement unique quand on l'ajoute dans les entités. Il faut également vérifier qui est l'auteur de l'information. Les points non numérotés sont en attente de vérification. Leur source est précisée dans les données attributaires. Dans ce cas, les données en cours de vérification sont celles issus du travail de J.-M.Tur.

---

<sup>30</sup> Voir glossaire.



Figure 19 : carte des opérations archéologiques (en cours de réalisation).

## -Reprojection des documents SIG existants

Le système officiel de projection pour la Lorraine est le Lambert 93 CC48. Les documents SIG existants ont été faits dans des systèmes de projection différents : certains sont en Lambert II Etendu, d'autres en Lambert 93. Il est nécessaire de changer le système de projection de ces documents. Pour trouver le système de projection d'un document, il existe un outil en ligne, TWCC<sup>31</sup>, the World Coordinate Converter, qui permet de convertir les coordonnées géographiques de n'importe quel endroit. Par exemple, l'adresse du 15 Rue de Liffol 88350 Grand a une latitude de 48.3836181°N et une longitude de 5.4869843°E. Cette localisation peut être exprimée en projection :

RGF93/CC48	x=1.884.168	y=7.245.623
LAMBERT 93	x=884.105	y=6.812.157
LAMBERT II Etendu	x=833.357	y=2.380.753
LAMBERT II Centre	x=833.357	y=380.753
GPS (WGS84)	x=48.383618	y=5.486984

Ces valeurs permettent de savoir dans quel système de coordonnées les documents sont projetés. La re projection de données est faite sur GlobalMapper<sup>32</sup>. Ce logiciel est particulièrement puissant pour passer d'un système de projection à l'autre.

## La numérisation du cadastre napoléonien

Ce travail a été commencé par A. Resch sur l'extérieur du bourg. La partie du bourg a pu être complétée. La méthode consiste à numériser les feuilles du cadastre ancien, puis à recalcr l'image sur le cadastre actuel (figure 20). La numérisation est faite manuellement en re dessinant<sup>33</sup> les limites cadastrales sur une classe d'entité.



Figure 20 : feuille du cadastre napoléonien et recalage de la feuille sur le cadastre actuel.

<sup>31</sup> <http://twcc.free.fr/convertir-fr.php>, annexe.

<sup>32</sup> Voir manipulation de projection sur GlobalMapper, en annexe.

<sup>33</sup> Voir numérisation manuelle du cadastre napoléonien, en annexe.







Figure 21 : (page paire) cadastre napoléonien numérisé : fonds de carte ancienne. Le parcellaire en lanière est caractéristique en Lorraine.

Figure 22 : (page impaire) cadastre actuel, après le remembrement en 1971.

### -Géoréférencement des plans archéologiques

La précision du géo référencement des plans de fouille dépend de plusieurs critères :

- l'échelle de dessin du document et sa nature (schéma, relevé, photo)
- du nombre de points de repères présents pour le recalage.

La meilleure méthode pour recalibrer des documents anciens est de pouvoir accéder aux vestiges et de prendre quelques points de topographie (précision de l'ordre du centimètre) connus sur les plans anciens. Le recalage est ainsi bien plus précis qu'avec uniquement un recalage cadastral (erreur de l'ordre de  $0,3 < \dots < 0,5$ m).

### **III-4-b Validation**

Outre la soutenance du mémoire de master à l'Ecole d'architecture de Nancy, le travail de modélisation et d'alimentation du SIG passe par une étape de validation avec le service cartographique SIG pour les questions en rapport avec l'outil SIG et avec le conseil scientifique du PCR pour ce qui concerne les problématiques archéologiques. Le prochain conseil scientifique se réunit à Grand les 20 et 21 septembre 2013.

### **III- 5 Réalisation et atlas topographique**

Après la validation de la mise en œuvre du SIG, la réalisation du SIG va continuer avec la création d'un atlas topographique de Grand. Des cartes de synthèse vont représenter l'ensemble des opérations archéologiques sur la commune, des prospections, des données LiDAR, des fonds de carte anciens (cadastre napoléonien). Chaque opération va faire l'objet d'une fiche composée d'une visualisation des données cartographiques mises à jour et d'une notice des découvertes accompagnée d'une bibliographie. Ce travail est la suite logique de la mise en œuvre du SIG carte archéologique de Grand.



## Conclusion

Sans être devenue une experte des SIG, ce travail de mémoire a été l'opportunité de m'approprier un outil que je ne connaissais pas. Les systèmes d'information géographique me semblent être un outil incontournable pour manipuler l'information spatiale. Je préfère utiliser l'expression information spatiale plutôt que celle d'information géographique car c'est bien l'espace qui est le point commun entre les architectes, les archéologues, les géographes, les géomètres etc. Ce travail sur les SIG m'a donc permis de manipuler de l'information spatiale, de tester le potentiel et les limites de l'outil dans une pratique du projet. Parallèlement, c'est l'approche théorique et la bibliographie qui m'ont permis de prendre un peu de distance réflexive sur mon travail et d'appréhender les SIG dans toutes leurs dimensions : outil de gestion, outil d'aide à la décision, outil de recherche.

Ainsi lors de ce mémoire et stage de recherche, l'objectif a été la mise en œuvre d'un système d'information géographique à dimension archéologique et patrimoniale pour documenter la carte archéologique de Grand. A l'issue du stage, le système est fonctionnel par rapport aux attentes initiales. La modélisation des données est cohérente et l'information archéologique intégrée répond aux problématiques de travail. La phase de montage du SIG est donc terminée. Cette phase de création du SIG a été l'occasion de rédiger un article pour le colloque *Digital Heritage 2013* à Marseille (juin 2013). Cet article met l'accent sur la méthodologie et l'approche appliquées pour la mise en œuvre du SIG, il prend la forme d'un rapport d'étape. Compte tenu du caractère très spécialisé du projet, le format du poster a été retenu pour présenter ce travail. La rédaction d'un article entièrement en Anglais a été un moment particulièrement formateur. L'essai de synthèse du processus du projet a été la base qui a servi à la rédaction de ce mémoire.

Le travail dans sa phase de réalisation du projet de SIG, c'est-à-dire dans son alimentation, est loin d'être terminé à ce jour. Je vais poursuivre la finalisation du projet dans les prochains mois dans le cadre d'une mission avec le Conseil Général. Cette poursuite de mon travail de mémoire a pour objectif la constitution d'un atlas topographique de Grand, avec un volet de cartographie et un volet de notices bibliographiques.



## Bibliographie

(Bergeron, 1992) Marcel Bergeron, Vocabulaire de la géomatique, 1992, «Cahiers de l'Office de la langue française», Les publications du Québec.

(Bertaux Ch., 1985) Bertaux Ch. L'économie architecturale de l'enceinte gallo-romaine de Grand, Annales de la Société d'émulation du département des Vosges, pp-5-18, 1985.

(Brinon Cl. 2012) Cl. Brinon, *Etude de la ressource en eau du site gallo-romain de Grand (Vosges) et de sa gestion antique*, thèse de doctorat, sous la direction d'A. Tabbagh et V. Plagnes, Paris VI, 2012.

(Brunet, 1992), Brunet R., *Les mots de la géographie*, dictionnaire critique, Montpellier-Paris RECLUS, La documentation française, première édition, 1992.

(Chapman, 2006), Chapman H., *Landscape Archaeology and GIS*, first published by Tempus Publishing 2006, reprinted by The History Press, 2009, 2011

(Cheylan, 2007)

(Costa, 2010), Costa L., *L'impact des SIG sur les organisations de l'archéologie*, thèse de doctorat, université de Paris Ouest-Nanterre, 2010.  
(<http://bdr.u-paris10.fr/theses/internet/2010PA100042.pdf>)

(Costa L., 2012), « La construction de référentiels géo-historiques : un enjeu pour l'interdisciplinarité dans les sciences historiques », *L'espace géographique*, 2012/4 Tome 41, pp.340-351.

(Debrauwer, Van der Heyde, 2005) *UML 2: initiation, exemples et exercices corrigés*, Ed ENI, Nantes, 2005.

(Dellong, 2006) dellong E., Un SIG archéologique consacré à Narbonne antique et à son proche terroir, 44, 2006.

(Denègre, Salgé, 1996) *Les SIG*, Que sais-je ? n°3122, Paris, PUF, 1996, réédité en 2004.

(Djindjian, 2011) Djindjian F., *Manuel d'archéologie. Méthodes, objets et concepts*, Paris, 2011. Éditeur Armand Colin, Collection : U.

(Galinié H. Husi Ph., Rodier X. Theureau Ch., Zadora-Rio, 2005) Galinié H. Husi Ph., Rodier X. Theureau Ch., Zadora-Rio E., ARSOL. La chaîne de gestion des données de fouilles du Laboratoire Archéologie et Territoires, *Les petits cahiers d'Anatole* n°17, 2005. ([http://citeres.univ-tours.fr/doc/lat/pecada/F2\\_17.pdf](http://citeres.univ-tours.fr/doc/lat/pecada/F2_17.pdf))

Héron Cl. La carte archéologique de St Denis : description et organisation des données, *Les petits cahiers d'Anatole*, n° 12, 2003.

(Koussa, 2011) Koussa C., *Implantation d'un système d'information géographique 3D sur Internet pour la gestion des modèles urbains*, thèse de doctorat, Université de Strasbourg, 2011.

(Lefebvre, 2008) Lefebvre B., « Modéliser les dynamiques spatiales d'un tissu urbain dans la longue durée (en plan et en volume) », *In Situ* [en ligne], 9 | 2008, mis en ligne le 18 avril 2012, (<http://insitu.revues.org/3906>)

(Marseille, 2013) Marseille G., *Urbanisme et architecture domestique de l'Entre-deux-guerres à Nancy et dans son agglomération*, thèse de doctorat, Université Nancy 2, Soutenance prévue pour 2013.

(Meyer, 2008) Meyer E., *Acquisition 3D, Documentation et Restitution en Archéologie – proposition d'un modèle de système d'information dédié au patrimoine*, thèse de doctorat, Université de Nancy 1, 2008.

(Ournac, 2011), Ournac P. *Archéologie et inventaire du patrimoine national : recherches sur les systèmes d'inventaire en Europe et Méditerranée occidentale (France, Espagne, Grande-Bretagne, Tunisie). Comparaisons et perspectives*, thèse de doctorat, Université de Toulouse 2, 2011.

(Paque, 2004) Paque D., « Gestion de l'historicité et méthodes de mise à jour dans les SIG », *Cybergeog : European Journal of Geography* [En ligne], Cartographie, Imagerie, SIG, document 278, mis en ligne le 23 juin 2004, (<http://cybergeog.revues.org/2500>)

(Pornon, 2011) Pornon H., *SIG, la dimension géographique du système d'information*, Dunod, Paris, 2011.

(Pornon, Noucher, 2007) Pornon H., Noucher M., « Bilan et perspectives de 20 années de géomatique. Vers des SIG plus collaboratifs. Les communautés de pratique. » *Géomatique Expert*, n°59.

(Resch A. 2012) Resch A., *Les traces fossiles à Grand (Vosges) à travers le relevé LiDAR*, mémoire de master, sous la direction d'O. de Cazanove, univ. Paris I Panthéon-Sorbonne, 2011-2012.

(Rodier Saligny, 2010) Rodier X. Saligny L., « Modélisation des objets historiques selon la fonction, l'espace et le temps pour l'étude des dynamiques urbaines dans la longue durée », *Cybergeog : European Journal of Geography* [en ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, article 502, mis en ligne le 17 Juin 2010. (<http://cybergeog.revues.org/23175>)

(Rodier, 2011) Rodier X.(sous la direction de), *Information Spatiale et Archéologie*, Ed. Errance, collec. Archéologiques, Paris, 2011.

(Rodier, 2000) Le système d'information TOTOPi : TOpographie de TOurs Pré-Industriel, *les petits cahiers d'Anatole*, n°4, 2000.

(Tur J.-M., 2009), Tur J.-M., *Habitat du secteur Nord de l'agglomération de Grand dans l'Antiquité*, mémoire de master ACTE, sous la direction de P. Nouvel, Université de Franche-Comté, 2008-2009.



Sites internet :

Atlas du patrimoine (<http://atlas.patrimoines.culture.fr>, 2013),

Atlas du patrimoine de Saint Denis ([www.atlas-patrimoine93.fr](http://www.atlas-patrimoine93.fr)),

Alpage, 2013 (<http://alpage.tge-adonis.fr/fr/>)

GeoPratiq (<http://pratiq.tge-adonis.fr/Presentation/Objectifs>), observatoire des pratiques géomatiques en sciences historiques.

Carte archéologique de la France pour les fouilles d'archéologie préventive et chantiers archéologiques de l'Inrap, sites Gaulois - Institut national de recherches archéologiques préventives : (<http://www.inrap.fr/archeologie-preventive/Sites-archeologiques/p-30-Recherche-de-sites-archeologiques.htm>)

Site de Geopratiq : <http://pratiq.tge-adonis.fr/>

Géorézo, forum internet : <http://georezo.net/>

ForumSIG forum internet : <http://www.forumsig.org/forum.php>

Forum ArcGIS : <http://forums.arcgis.com/>

Ménestrel : <http://www.menestrel.fr/>



## Glossaire des mots-clefs

-AGL : Atelier de Génie Logiciel

-BD/BDS : Base de Données/Base de Données Spatiales

- Carte Archéologique : « Il s'agit de la *Carte Archéologique de la Gaule*, publiée par l'Académie des Inscriptions et Belles Lettres, sous la direction scientifique du Professeur Michel Provost. Le territoire français est subdivisé par départements, ou parfois par grandes villes puis campagnes. Chaque volume donne une liste exhaustive des connaissances archéologiques sur la micro-région concernée pour une période déterminée. On y retrouve toutes les mentions de sites, vestiges, et toute référence à la documentation archéologique. Le coeur des volumes est la bibliographie : c'est l'objet même du recueil. Il s'agit d'un dépouillement bibliographique, et non d'un travail de terrain, destiné à regrouper des mentions, parfois anciennes, de sites protohistoriques, gallo-romains et du Haut Moyen Age. La réalisation d'un volume est assuré soit par un membre du personnel du S.R.A. de la région concernée, ou par un archéologue (C.N.R.S, I.N.R.A.P., universitaire, ou milieu associatif), ou parfois, aussi, par un doctorant en archéologie. La tâche consiste tout d'abord à parcourir la documentation existante sur les vestiges : publications antérieures, rapports d'opération archéologique, articles, pour en relever la bibliographie et la description. Ensuite, les chercheurs ayant travaillé sur le territoire concerné peuvent être sollicités pour des précisions, des développements, ou même pour rédiger tout ou partie du volume. Les informations sur les sites sont rapidement données dans un texte, en seconde partie de volume nommé « Pré-inventaire des sites archéologiques », pour rappeler que l'on s'appuie sur l'inventaire maintenu par les S.R.A. Ces textes, succincts et synthétiques, donnent l'ensemble des références qui ont été retrouvées, en sachant que quelquefois, les informations sont totalement inédites et n'ont aucune bibliographie. Cette dernière est présentée en début de volume, car il s'agit bien du coeur de celui-ci. Souvent, plus d'un siècle de publications scientifiques sur les vestiges antiques est compulsé. S'y ajoute la littérature dite « grise » ; à savoir les rapports et documents conservés aux archives des S.R.A. non publiés. Des centaines d'archives sont consultées à la recherche des précieuses mentions. La bibliographie est vérifiée rigoureusement. Le *Pré-inventaire* est précédé d'introductions sur des thèmes tels que l'occupation du territoire, la géographie antique, les voies de communication ou l'épigraphie, proposées par les chercheurs disponibles. Ces textes reprennent les informations récoltées lors de la constitution du pré-inventaire, ce qui permet de donner à la lecture des synthèses inédites sur des sujets généraux. » (Ournac, 2011)

-CityGML - City Geography Markup Language

SIG : D'un point de vue technique, un SIG est défini comme un « system of computer hardware, software, and procedures designed to support the capture, management, manipulation, analysis, modeling, and display of spatially referenced data for solving complex planning and management problems »(Denègre, Salgé, 1996). Si l'on met l'accent sur la finalité des SIG, comme dans la définition proposée par Michel Didier, un SIG est « un ensemble de données repérées dans l'espace,

structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision ». La synthèse de ces deux points de vue fait aujourd'hui consensus pour apporter une définition complète.

**-Classe d'entité** : Les classes d'entités représentent des ensembles homogènes d'entités communes, possédant toutes la même représentation spatiale (comme des points, des lignes ou des polygones) et un ensemble commun de colonnes d'attributs, par exemple une classe d'entités linéaires représentant les axes médians des routes. Les quatre classes d'entités les plus utilisées dans les géodatabases\* sont les points, les lignes, les polygones et les annotations (nom du texte des cartes dans les géodatabases).

**-CNAU** : Centre National d'Archéologie Urbaine.

**-DSM** : modèle de Surface Numérique : points du sol et de la végétation (voir MNT).

**-Géodatabase** (terme utilisé par ESRI) = base de données spatiales.

**-Géomatique** : « La géomatique est une discipline ayant pour objet la gestion des données à référence spatiale par l'intégration des sciences et technologies reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion » (Marcel Bergeron, Vocabulaire de la géomatique, 1992, « Cahiers de l'Office de la langue française », Les publications du Québec).

**-HDBS** : (Hypergraph Based Data Structure) la méthode HDBS a été développée par François Bouillé et est utilisée par l'IGN. Variante de l'UML.

**-formats de fichiers SIG** :

.shp— les formes ; les entités géographiques elle-mêmes

.shx— l'index de formes ; un index basé sur les positions des entités géographiques

.dbf— les attributs ; les données attributaires associées à chaque forme, au format dBase III

Les fichiers optionnels possibles :

.prj — la projection ; le système de coordonnées et l'information de projection, un fichier texte décrivant la projection utilisant le format texte.

**-ISA** : le réseau Information Spatiale et Archéologie est un réseau de concepteurs et d'utilisateurs d'information spatiale archéologique. Il a été constitué en 2001 par les laboratoires d'archéologie du CNRS au sein des MSH (Maison des Sciences de l'Homme : <http://www.msh-reseau.fr/>) de Besançon, Dijon, Lyon, Nice, Tours, Toulouse, Nanterre, Clermont-Ferrand, Bordeaux et Montpellier. Il s'agit d'un réseau interinstitutionnel avec la participation de nombreux membres de la communauté archéologique (Ministère de la Culture, INRAP, collectivités territoriales). L'objectif du réseau ISA est l'amélioration, la diffusion, et le développement collectif des pratiques géomatiques dans la recherche archéologique. Cet objectif passe par la définition de nouveaux objets de recherche concernant les sociétés du passé, le transfert de concepts de la géographie dans le domaine de l'archéologie et la diffusion de la

géomatique vers les divers milieux professionnels de l'archéologie. (<http://isa.univ-tours.fr>)

**-Lambert (projection)** : La projection conique conforme de Lambert, ou plus simplement, la projection de Lambert est l'une des projections cartographiques présentées par le mathématicien mulhousien Johann Heinrich Lambert en 1772. Le système a été adopté par l'artillerie française au cours de la Première Guerre mondiale pour les cartes à grande échelle.

Dans ce système de projection conique conforme (angles conservés), les méridiens sont des droites concourantes, et les parallèles des arcs de cercle centrés sur le point de convergence des méridiens.

Définition : La terre est supposée avoir la forme d'un ellipsoïde de révolution. Le sommet du cône appartient à l'axe des pôles et donc de l'ellipsoïde. Le cône est :

-soit tangent à l'ellipsoïde de référence en un point défini par un méridien de référence et un parallèle de référence de latitude  $\varphi_0$  qui est aussi l'angle au sommet du cône.

-soit sécant à l'ellipsoïde selon deux parallèles, dits alors parallèles

automécoïques  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$ . Dans ce cas, on prend  $\varphi_0 = (\varphi_1 + \varphi_2)/2$ .

La définition d'une projection de Lambert peut ainsi se faire soit par un parallèle tangent et un facteur d'échelle, soit par deux parallèles sécants et isométriques.

Le cône est ensuite développé sur un plan, sans déformation.

Dans cette projection on retrouve :

-les parallèles (latitude constante) sont des cercles concentriques autour du point P, projection du pôle Nord et sommet du cône.

-les méridiens (longitude constante) sont des droites concourantes en P.

-l'axe des ordonnées est la projection du méridien de référence.

l'origine des axes se trouve au point de référence.

-le cercle, projection du parallèle de référence, est appelé isomètre ou isomètre de référence. En effet, c'est selon ce cercle que l'on définit l'échelle de la carte.

-les angles sont conservés.

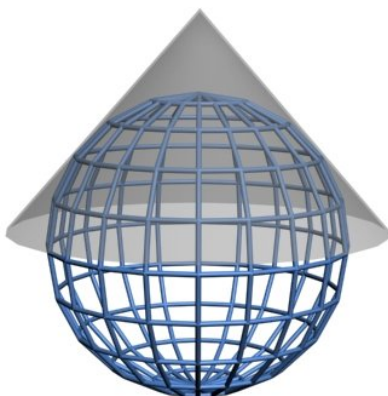


Figure 22

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Projection\\_conique.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Projection_conique.jpg)

**-Lambert 93** : La projection Lambert93 (projection officielle pour les cartes de France métropolitaine depuis le décret du 26 décembre 2000) est la projection liée au système géodésique RGF93. Elle utilise deux parallèles sécants : 44°N et 49°N, le méridien de référence 3°E (Méridien de Greenwich), le parallèle d'origine (qui n'est pas de référence puisqu'on utilise des parallèles sécants) 46°30', et les coordonnées d'origine (700 000 m, 6 600 000 m).

En pratique, cette projection est peu utilisée, en partie du fait des altérations linéaires importantes qui y sont associées (2,3 m/km à Dunkerque, 0,60 m/km à Marseille et 2,95 m/km à Bonifacio, légèrement inférieures à celles de la projection Lambert 2 étendue). Pour y remédier, le décret 2006-272 a entériné la création de 9 projections coniques conformes sécantes, couvrant 9 zones du nord au sud, telles que proposées par un rapport du CNIG et adoptées notamment par les géomètres-experts et le service du Cadastre. Elles ont en commun avec le Lambert93 le système géodésique RGF93 et le méridien de référence 3°E (Méridien de Greenwich).

En Lorraine, c'est le Lambert 93 CC48 qui est utilisé.

Projection	$\phi_0$	$\phi_1$	$\phi_2$	$X_0$	$Y_0$
CC42	42°	41.25°	42.75°	1 700 000 m	1 200 000 m
CC43	43°	42.25°	43.75°	1 700 000 m	2 200 000 m
CC44	44°	43.25°	44.75°	1 700 000 m	3 200 000 m
CC45	45°	44.25°	45.75°	1 700 000 m	4 200 000 m
CC46	46°	45.25°	46.75°	1 700 000 m	5 200 000 m
CC47	47°	46.25°	47.75°	1 700 000 m	6 200 000 m
CC48	48°	47.25°	48.75°	1 700 000 m	7 200 000 m
CC49	49°	48.25°	49.75°	1 700 000 m	8 200 000 m
CC50	50°	49.25°	50.75°	1 700 000 m	9 200 000 m

Figure 23 Tableau des différentes projections issues du Lambert 93.

**-LiDAR** : Light Detection and Ranging, ou télédétection par laser.

Le LiDAR (Light Detection And Ranging), ou laser scanneur aéroporté, est une technique de prospection qui s'est développée à partir du milieu des années 90. Cette technologie est basée sur des lasers scanneurs et permet notamment une prise de points rapide d'une grande précision en élévation.

Le fonctionnement du LiDAR est simple : il s'agit en fait d'un faisceau laser qui envoie des impulsions au sol, le temps de réponse étant calculé il est possible alors d'obtenir un point dont les coordonnées sont renseignées dans tous les plans – longitude, latitude et altitude. Concrètement, l'avion, ou tout autre appareil de vol, est équipé d'un GPS différentiel qui permet d'effectuer les corrections indispensables concernant les coordonnées. Un GPS stationné au sol dont les coordonnées sont exactement connues est aussi nécessaire. Ces deux GPS permettent une précision de l'ordre de la dizaine de centimètres dans tous les plans. L'appareil volant effectue le survol de la zone à prospector et le laser bombarde littéralement le sol d'ondes – un laser de ce type peut prendre jusqu'à cinquante mille points par seconde, parfois plus. Le temps de réponse –ou écho- est calculé afin de connaître la position

altimétrique des points. Ces mesures peuvent aussi comporter d'autres informations comme les infrarouges ou l'intensité de retour (Resch, 2012).

**-MNT** : Modèle Numérique de Terrain ; il s'agit de la surface du sol débarrassée de la végétation (DSM)

**-RGFCC48** : voir Lambert 93.

**-SRID 26918** : Identifiant de Référence Spatiale ; il définit les paramètres des données tels que les coordonnées géographiques et la projection. Son utilisation est pratique car il encapsule sous la forme d'un nombre toutes les informations à propos de la projection.

**-Topologie** : description des relations spatiales (superposition, chevauchement, connexion, adjacence) entre les entités d'une couche d'information. La topologie, ou science des voisinages, est une branche des mathématiques créée par Poincaré à la fin du XIXème s. pour formaliser des raisonnements de nature qualitative. Elle s'intéresse aux relations de voisinage entre des objets et permet de formaliser mathématiquement une approche qualitative. Les relations de voisinage s'expriment en termes de contiguïté, proximité, adjacence, connectivité. (Glossaire, (Rodier, 2011)).

**-UML** : (Unified Modeling Language ou langage unifié de modélisation), langage graphique destiné à la modélisation de systèmes et de processus. UML est un langage basé sur l'approche par objets. (Debrauwer, Van der Heyde, 2005). L'approche par objets est la base de l'UML. L'UML est constitué de concepts (objets, classes, spécialisation, composition) et de principes (abstraction, encapsulation). Ces concepts et principes sont le support de la modélisation de systèmes complexes en vue de leur programmation.





## Table des illustrations

- Figure 1 : Carte ancienne Caylus, source archives du site. Plan de Grand levé sous les ordres de Monsieur Legendre (d'après Caylus, 1764, planche CXI)
- Figure 2 : Première carte archéologique, J.-B. P. Jollois, Mémoire sur quelques antiquités du département des Vosges (1843).
- Figure 3 : Carte archéologique AI, DAO Th. Dechezleprêtre, mise à jour 2013.
- Figure 4 : Schéma de principe d'un SIG : le cœur du système d'information est constitué d'une modélisation spatiale des données qui fait le lien entre noyau SGBD pour les données descriptives et une couche de DAO pour les données géométriques. Tout un jeu de modules additionnels complète ce système. (Rodier, 2011, p.16)
- Figure 5 : Les 5 A, le schéma universel de principe décrivant les fonctions élémentaires des SIG in (Denègre, Salgé) peut être renseigné par les étapes ou opérations du processus du travail archéologique : on obtient ainsi un premier modèle spécifique à l'archéologie (Rodier, 2011).
- Tableau 1 : Analogie Information Géographique / Information Archéologique
- Figure 6 : Les différents acteurs du SIG à Grand.
- Figure 7 : schéma illustrant les étapes dans la gestion d'un projet de SIG (d'après Panet, Ravalet, 2001).
- Fig 8 comparaison des processus d'enregistrement et de traitement de l'information spatiale à l'échelle de la fouille avec et sans SIG (Rodier, 2011, p. 28)
- Figure 9 : Plan général (SIG) des structures archéologiques de la fouille programmée de la Rue du Ruisseau à l'issue de la campagne de fouille de l'été 2013 (A. Resch, A. Guillem).
- Figure 10 : Schéma général du processus SIG dans la procédure opérationnelle de l'INRAP. (Rodier, 2011, p.35)
- Figure 11 : Schéma conceptuel des données du modèle OH-FET de l'espace urbanisé dans la longue durée (modélisation en HDBS) (Rodier, 2011, p.69)
- Figure 12: Schéma conceptuel des données du modèle OH-FET traduit en diagramme de classe UML2.
- Tableau 2 : Valeurs urbaines de 1 à 9 et valeurs d'usage de 11 à 92 d'après la grille du CNAU.
- Tableau 3 : thesaurus chronologique CNAU

- Figure 13 : plan de synthèse du Jardin Huguet et de la Mosaïque, archives de Grand.
- Figure 14 : export de la couche « Murs », interprétations à partir des prospections géophysiques, avec le cadastre actuel en fonds de carte. Données J.-M. Tur.
- Figure 15 : plan de synthèse des indices archéologiques témoignant de l'existence de la porte monumentale, (Bertaux Ch., 1985).
- Figure 16 : relevé de plan de fouille, opération n°18 située rue Houillon, fouille préventive menée par ANTHEA en 2007 sur les parcelles 936/146.
- Tableau 4 : extrait de l'inventaire des regards d'égout, 2013. Coordonnées en Lambert II Centre (voir glossaire Lambert).
- Figure 17 : Schéma conceptuel des données du SIG de Grand exprimé en diagramme de classes UML.
- Figure 18 : Schéma des liens entre SIG et SGBD.
- Figure 19 : carte des opérations archéologiques.
- Figure 20 : feuille du cadastre napoléonien et recalage de la feuille sur le cadastre actuel.
- Figure 21 : (page paire) cadastre napoléonien numérisé : fonds de carte ancienne.
- Figure 22 : (page impaire) cadastre actuel.

## **Table des annexes**

-Carte Cassini

-Carte d'Etat major

-Tableau des opérations archéologiques

-Questionnaire des besoins en terme de SIG avec les réponses

-GlobalMapper

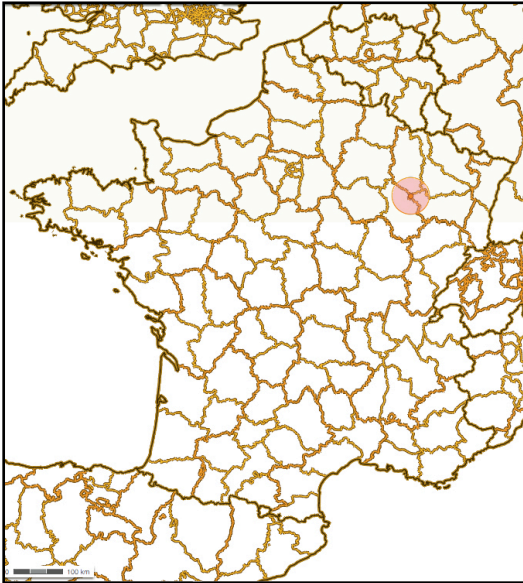
-Numérisation du cadastre napoléonien (ArcGIS)

-TWCC

-Article

## Annexes

### 1-Localisation de Grand.



### 2-Carte de Cassini.

Source Géoportail





N° de site	Pts	Polygon	Ligne	Adresse	Lieu-dit	Années(s)	Propriété	Nom propriétaire	Parcelles(s)	Responsable(s) d'opération	type d'opération	Vestiges	Interprétation
1		x		Rue Houllion	La Baronnie	1820	privé	Mme Durand	162	M. Cojin	sondages	Maçonneries, cuves	Thermes ?
2		x		Rue des Roses	La Moucherie	c. 1860	privé			J. Laurent	Sondages	Maçonneries, mosaïque	habitats
3		x		Rue de la Mosaïque	Mosaïque	1883	C.G. Vosges	Conseil Général	961	F. Voulot	Dégagement	Maçonneries, mosaïque	Bâtiment public ?
4		x		Rue de la Mosaïque	Jardin Hugot	1900-06	C.G. Vosges		912	R. Salin, R. Billoret	Fouille programmée	Maçonneries	Bâtiment public ?
5		x		Rue de la Mosaïque	Allé Nord "basilique"	1961	C.G. Vosges		932	R. Billoret	Fouille programmée	Maçonneries	Bâtiment public ?
6		x		Rue de la Mosaïque	Allé Sud "basilique"	1962-65	C.G. Vosges		963	R. Billoret	Fouille programmée	Maçonneries	Bâtiment public ?
7		x		Rue de la Mosaïque	Maison Fritsch (étruite)	1959	Etat		386	L. Olivier	Sondages	Aire dallée, conduite	Espace public ?
8		x		Rue de la Mosaïque	Jardin communal, parkir	1937	Commune		389	M. Toussaint	Sondages	Aire dallée, conduit	Espace public ?
9		x		Rue de la Mosaïque	Parking actuel	1962-1964	Commune		389	J.-P. Bertaux	Sondages	Aire dallée	Espace public ?
10		x		Rue de la Mosaïque	Jardin communal, parkir	1969	Commune		389	J.-P. Bertaux	Suivi assainissement	Dalles	Thermes ?
11		x		Rue de l'Iffole-Grand	voir rapport Garage	1969	Commune			J.-P. Bertaux	Suivi travaux	Maçonneries	four de porter
12		x		Rue de l'Iffole-Grand	Garage Favret	1969	Commune			J.-P. Bertaux	Suivi travaux DDE (fosse)	four	Incinérations
13		x		Rue de l'Iffole-Grand		1968	Commune			D. Parmentelot	Suivi travaux DDE (fosse)	meublier	Rempart et habitat
14		x		Rue de l'Iffole-Grand		1968	Commune			D. Parmentelot	Suivi travaux DDE (fosse)	meublier	Habitats et bâtiments publics
15		x		Rue de l'Iffole-Grand	voie communale	2010	privé	Joan Ayling	23	Th. Dechezleprêtre	Suivi travaux	Courtières, habitat	voie d'accès à l'amphithéâtre
16		x		Rue du Ruissau		1980 ?	privé		278	J.-P. Bertaux	Inventaire thématique	Divers	Voie antique ?
17		x		Rue du Ruissau	Ancienne Usine Lejeune	2007	C.G. Vosges		184-185	Th. Dechezleprêtre	Fouille programmée	Divers	Voie antique ?
18		x		Rue Houllion		2007	privé		936-146	ANTHEA	Fouille préventive	Voie	Voie antique ?
19		x		Rue de Joinville	voie communale	1963	Commune			B. Counot et Roussel	Suivi adduction	Voie	Voie antique ?
20		x		Rue de l'amphithéâtre	voie communale	1963	Commune			B. Counot et Roussel	Suivi adduction	Voie	Voie antique ?
21		x		Rue de l'amphithéâtre	voie communale	1937	privé		136	M. Toussaint	Découverte fortuite	Maçonnerie et éléments d'architecture	Voie antique ?
22		x		Chemin des remparts	Levin	2012	Commune		249	Th. Dechezleprêtre	Suivi de travaux	Niveau de sol, fosse	Habitat avec hypocauste
23		x		Rue de l'amphithéâtre		1998	C.G. Vosges		129-133	K. Boujanger (AFAN)	Fouille préventive	Maçonneries	aménagement en bordure du rempart
24		x		Rue de l'amphithéâtre	Parking	1998	C.G. Vosges		160	J.-P. Bertaux	Suivi de travaux	Maçonneries et mosaïque	Habitat
25		x		Chemin de la Chapelle	fergers de l'amphithéâtre	2009	C.G. Vosges		158, 234, 235	Th. Dechezleprêtre	Prospection géophysique	Anomalies multiples	Habitat
26		x		Chemin de la Chapelle	Cimetière communal	1973-1984	Commune		32	J. Guillaume	Sondages	Divers	Habitat
27		x		Chemin de la Chapelle	Les Roises	1997	privé	Mme Henry	143	J.-C. Beropt, F. Laionde, J.-L. Rerr	Fouille programmée	Anomalies multiples	Habitats
28		x		Chemin de Mاتهotte	Les Roises	2009	privé	Mme Henry	143	Th. Dechezleprêtre	Prospection géophysique	Maçonneries	Habitats
29		x		Chemin de Mاتهotte	Atelier Perrin	1995	privé		288	M. Milufnovic	Sondages	Maçonneries	Habitats
30		x		Chemin de la Conville	Pré Durand	2009	privé	Mme Durand	129	Th. Dechezleprêtre	Prospection géophysique	Anomalies multiples	Voie, habitats ?
31		x		Chemin de la Malaidière	bits Jean Durand (carriér)	1990	privé	Mme Durand	26	J.-P. Bertaux	Sondage	Maçonneries, hypocaustes	Habitats
32		x		Chemin de la Malaidière	La Malaidière	1967	privé	Mme Durand	43	Ch. Bertaux	Fouille programmée	Maçonneries, hypocaustes	Habitats
33		x		Chemin de la Malaidière	La Malaidière	2009	privé	Mme Durand	43	Th. Dechezleprêtre	Prospection géophysique	Anomalies multiples	Voie, habitats ?
34		x		Chemin de la Malaidière	La Malaidière	2009	privé	Mme Durand	26	Th. Dechezleprêtre	Prospection géophysique	Anomalies multiples	Voie, habitats ?
35		x		Chemin des Remparts	Pré Laguerre	2010	Commune		50	V. Rachtet	diagnostic	habitat, structures fossées et hydrologie	domus sub-urbaine
36		x		Chemin des Remparts	Pré Laguerre	2011	Commune		50	M. Gazeberbeck	Fouille archéologique	habitat, hydrologie	domus sub-urbaine
37		x		Chemin des Remparts	Remparts	1936	Commune		249	M. Toussaint	sondages	tour 21 du rempart	Rempart occidental
38		x		Chemin des Remparts	Remparts	1966	Commune		249	J. Guillaume	sondages	fossé et courtine du rempart	Rempart
39		x		Chemin des Remparts	Remparts	1975	Commune		249	Ch. Bertaux	sondages	tour 22 du rempart	Rempart occidental
40		x		Chemin des Remparts	Remparts	1976	Commune		249	Ch. Bertaux	sondages	tour 19 du rempart	Rempart occidental
41		x		Rue du Bois	Grand Jardin	2008	Commune		249	Th. Dechezleprêtre	Prospection géophysique	Anomalies multiples	habitat
42		x		Grande Rue	Grand Jardin	2008	privé	Mr et Mme Buzzolini	10	Th. Dechezleprêtre	Prospection géophysique	Anomalies multiples	habitat
43		x		Grande Rue	Grand Jardin	1970	privé	Mr et Mme Buzzolini	168-169	B. Counot et J.-P. Roussel	Suivi travaux	Maçonneries	enceinte, habitats ?
44		x		Grande Rue	Grand Jardin	1967-1968	Etat		17	J. Guillaume	Fouille programmée	Maçonneries	Habitats
45		x		Rue du Bois	"Terrain de foot"	2008	Commune		249, 266	Th. Dechezleprêtre	Prospection géophysique	Anomalies multiples	Géologie, habitats ?
46		x		Rue du Cagnot	voie communale	1979	Commune			Ph. Favre	Suivi assainissement	Maçonneries	porte de l'enceinte ?
47	x			Rue de la Coulotte	voie communale	1963	Commune	Mr Meyer		B. Counot et Roussel	Suivi adduction	Maçonneries	piédroit porte ?
48		x		Rue de Joinville	voie communale	1963	privé			D. Parmentelot	Suivi adduction	puits Meyer	
49		x		Impasse de la Moucherie		1963	Commune			B. Counot et J.-P. Roussel	Suivi adduction	voies antiques ?	
50		x		La Moucherie		2009	Commune	Mr et Mme Ménétrét	111	Th. Dechezleprêtre, J.-M. Tur	Suivi adduction	voies antiques ?	
51		x		Grande Rue		2008	Etat		17-18	Th. Dechezleprêtre	Suivi travaux	Maçonneries	Habitats
52		x		Rue Houllion	Grand Jardin	2008	privé	Mme Durand	910	Th. Dechezleprêtre	Prospection géophysique	Anomalies multiples	habitat ?
53		x		Rue Houllion		2008	C.G. Vosges		3	Th. Dechezleprêtre	Prospection géophysique	Anomalies multiples	habitat ?
54		x		rue de l'Iffole-Grand	Hangar Morlot	1968	privé	Mr et Mme Morlot	6	inconnu	découverte fortuite	Maçonneries	Habitats
55		x		Chemin des Remparts		c. 1980	privé	Mr Keyser	29-30	inconnu	découverte fortuite	Maçonneries	Habitats
56		x		La Violette			privé			J.-C. Beropt	Fouille programmée	Maçonneries	Thermes ?
57		x		Rue de la Coulotte	"Centre du patrimoine"	1994	C.G. Vosges		346	J.-P. Bertaux	Suivi travaux	Maçonneries	Thermes ?
58		x		Rue de la Coulotte	"Centre du patrimoine"	2007	Etat		767	K. Boujanger	Suivi travaux	Maçonneries	habitat
59		x		Grande Rue	"La prison romaine"	1810	privé	J. Duvaux	896	E. Chaudron	Découverte fortuite	saie voultée	cave gallo-romaine ?
60		x		Chemin du Pré Laguerre	Champ Margrite	1995	privé	J. Duvaux	49	J.-P. Bertaux	découverte fortuite	citerne du cavalier au Génie	citerne d'un habitat non reconnu
61		x		Chemin du Pré Laguerre	bits Champ-Marguerite	1963-68	privé	J. Duvaux	49	J.-P. Bertaux	Remembrement	puits aux tablettes astronomiques (n°77)	puits gallo-romain
62		x		inconnu	Puits n°34	1964	Commune			J.-P. Bertaux	sondages	puits n°34	puits gallo-romain
63		x		Chemin des Remparts	Puits Chemin H.L.M.	1969	Commune			J.-P. Bertaux	Suivi assainissement	puits n°125	puits gallo-romain
64		x		Rue de Joinville	bits Antoine Mayer (Grai)	1969	privé	Mr Antoine Mayer		D. Parmentelot	sondage	puits	puits gallo-romain
65		x		Rue de Joinville	bits Antoine Mayer (Caw)	1969	privé	Mr Antoine Mayer		D. Parmentelot	sondage	puits	puits gallo-romain
66		x		Lotissement des Remparts	L.M., puits Jean-Paul Per	1970	privé	Mr Robert Marchal	43	J.-P. Bertaux	Suivi travaux	puits	puits gallo-romain
67		x		Rue de la Chapelle	puits	1975	Commune			J.-P. Bertaux	Suivi assainissement	puits	puits gallo-romain
68		x		Rue des Roses	Puits Henri Dussaux	1975	privé	A. Dussaux		J.-P. Bertaux	sondages	puits	puits gallo-romain
69		x		Rue des Roses	Puits Claude Poligné	1975-1976	Commune			J.-P. Bertaux	sondages	puits n°129	puits gallo-romain

70	x	Rue de la Chapelle	Puits Pizagalli	1975-1978	Commune	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	puits	puits gallo-romain
71	x	Rue des Roises	Puits Marcel Moser	1979-1980	Commune	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	puits	puits gallo-romain
72	x	Rue de la Moucherie	Puits des Roises	1976	privé	J.-P. Berraux	sondages	puits	puits gallo-romain
73	x	Rue de l'amphithéâtre	Puits Loulou	1976-1979	Commune	Mr et Mme Pierrat	Suivi assainissement	puits	puits gallo-romain
74	x	Grande Rue	Puits du Cagnot	1977	Commune	J.-P. Berraux	sondages	puits	puits gallo-romain
75	x	Grande Rue	Puits Trampot	1978-1979	Commune	J.-P. Berraux	sondages	puits	puits gallo-romain
76	x	Rue du Cagnot	Puits Spindler	1979	privé	J.-P. Berraux	sondages	puits	puits gallo-romain
77	x	Rue de Joinville	Puits Serge Spindler	1979	privé	J.-P. Berraux	sondages	puits	puits gallo-romain
78	x	Rue de la Mosaïque	Puits Cagnot bis	1979-1980	Commune	Mr et Mme Spindler	Suivi assainissement	puits	puits gallo-romain
79	x	Grande Rue	Its Nicole - André Marécl	1980	commune	Mr et Mme Nicole	sondages	puits	puits gallo-romain
80	x	Impasse de la Moucherie	Puits Familiale	1980	commune	J.-P. Berraux	sondages	puits	puits gallo-romain
81	x	Route de Danville	Puits "Fossé - Roises"	1980	commune	J.-P. Berraux	sondages	puits	puits gallo-romain
82	x	Grande Rue	Puits Choyen	1980	commune	J.-P. Berraux	sondages	puits	puits gallo-romain
83	x	Rue de la Chapelle	Puits Schneider	1980	commune	Mr et Mme Schneider	sondages	puits	puits gallo-romain
84	x	Rue du Cagnot	Its Marchal - Marie Ma	1981	privé	J.-P. Berraux	sondages	puits	puits gallo-romain
85	x	Rue des Roises	Puits du Docteur	1981	commune	Mme Martin Mayer	sondages	puits	puits gallo-romain
86	x	Champé Marguerite	Puits Jean Duvaux	1981	privé	J.-P. Berraux	sondages	puits	puits gallo-romain
87	x	Rue de Joinville	Puits Albert Moriot	1981	privé	Mr Jean Duvaux	sondages	puits	puits de la déesse-mère
88	x	Rue de la Mosaïque	Puits Mosaïque	1981	privé	Mr et Mme Moriot	sondages	puits	puits gallo-romain
89	x	Route de Danville	Puits Hangar Polipré	1987	privé	Mr Polipré	suivi travaux	puits	puits gallo-romain
90	x	Route de Gondécourt	Hangar Polipré	1973	privé	M. Polipré	suivi de travaux	puits	puits gallo-romain
91	x	Rue de la Chapelle	Puits du Docteur bis	1983	commune	J.-P. Berraux	sondages	puits	niveaux d'occupations multiples
92	x	Chemin des Remparts		2008	Commune et Tho Commune et Thouvenin	Th. Dechezleprêtre	Prospection géophysique	Anomalies multiples	habitats
93	x	rue de Liffolie-Grand	A la Courte Soupe	1969	privé	Mme Jean Ayling	Suivi assainissement	Puits et maçonnerie ?	puits et habitat ?
94	x	rue de Liffolie-Grand	A la Courte Soupe	1969	privé	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	Niveaux d'occupation (couches d'incendie ?)	niveau d'occupation
95	x	rue de Liffolie-Grand	A la Courte Soupe	1969	privé	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	Niveaux d'occupation (couches d'incendie ?)	habitats
96	x	rue de Liffolie-Grand	A la Courte Soupe	1969	privé	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	Niveaux d'occupation	niveau d'occupation
97	x	Chemin de Pré Laguerre		1969	commune	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	Salle sur hypocauste, stucs	niveau d'occupation
98	x	Chemin des Remparts	Pré Laguerre	1969	privé	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	Conduite en terre-cuite	habitat
99	x	Chemin des Remparts	Pré Laguerre	1969	commune	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	Macromeries, niveaux d'occupation	habitat
100	x	Chemin des Remparts	H.L.M.	1969	commune	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	Salle sur hypocauste	habitat
101	x	Chemin des Remparts	H.L.M.	1969	commune	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	Structure fossoyée de 5 m de largeur ?	voie antique ?
102	x	Chemin des Remparts	carrefour	1969	commune	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	Sol bétonné	voie antique ?
103	x	rue de la Mosaïque	voic communale	1969	commune	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	Mobilier isolé (romaine de Néron)	habitat
104	x	rue de Liffolie-Grand	carrefour	1969	commune	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	Macromeries, sol bétonné, stucs...	habitat
105	x	rue de Liffolie-Grand	voic communale	1969	commune	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	2 niveaux d'occupation avec macromeries, stucs...	habitat
106	x	rue de Liffolie-Grand	voic communale	1969	commune	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	Vestiges divers	habitat vu en 1963
107	x	rue de Liffolie-Grand	voic communale	1969	commune	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	Tranchée rebouchée mais mobilier observé	habitat
108	x	Rue du Ruisseau	Rue du Ruisseau	1969	commune	J.-P. Berraux	Suivi assainissement	Tranchée rebouchée mais mobilier observé	habitat
109	x	Rue du Ruisseau	Rue du Ruisseau	1969	CG / privé	805/165	Suivi assainissement	Tranchée rebouchée mais mobilier observé	habitat
110	x	Rue du Ruisseau	Rue du Ruisseau	1969	CG / privé	162	Suivi assainissement	Mosaïque	habitat
111	x	Chemin de Grande Chapelle	Hangar Régnier	1995	privé	J.-P. Berraux	suivi travaux	"auge" carrée, fragments de corniches, sculptures	indéterminé
112	x	Place de l'église	Clerneau de l'église	1858	commune	M. Roger Régnier	Découverte fortuite	Amphithéâtre	
113	x	Amphithéâtre	La Roche	1820-1823	commune	J.-B. Prosper Jolios	sondages	Gradins - partie orientale	
114	x	Amphithéâtre	La Roche	1963-64	commune	R. Blioret (DAHL)	feuille programmée	Galerie périmétrale (ambulacre), accès vomitoria et corridor ouest	
115	x	Amphithéâtre	La Roche	1965	commune	R. Blioret (DAHL)	feuille programmée	Second mur de périmètre	
116	x	Amphithéâtre	La Roche	1966	commune	R. Blioret (DAHL)	feuille programmée	1er mur de périmètre et maenianum inférieur sud	
117	x	Amphithéâtre	La Roche	1967	commune	R. Blioret (DAHL)	feuille programmée	Sas est et maenianum inférieur nord	
118	x	Amphithéâtre	La Roche	1968	commune	R. Blioret (DAHL)	feuille programmée	Caracères et arcades occidentales	
119	x	Amphithéâtre	La Roche	1969	commune	R. Blioret (DAHL)	feuille programmée	Zone située entre les arcades et le mur de clôture (ouest)	
120	x	Amphithéâtre	La Roche	1970	commune	R. Blioret (DAHL)	feuille programmée	habitats, hypocaustes, cuves	balneum
121	x	Rue de Mièvrevaux	anc. route de Danville	1820-1823	privé	J.-B. Prosper Jolios	sondages	cuve avec mortier de tuileau	Thermes ?
122	x	Rue des Roises	anc. rue de Bréchainville	1820-1823	privé	J.-B. Prosper Jolios	sondages	petit canal voûté (0,40x0,40 m)	aqueus souterrain ?
123	x	Rue de la Mosaïque	anc. rue de Bréchainville	1820-1823	privé	J.-B. Prosper Jolios	sondages	Salle avec enlèvement de chaux, hypocauste	habitat ?
124	x	Rue de la Mosaïque ?	Grand Jardin	1820-1823	privé	J.-B. Prosper Jolios	sondages	Ancien réservoir souterrain	cléme ?
125	x	Grande Rue	Place de l'église	c. 1820-1840	privé	J.-B. Prosper Jolios	Découverte fortuite	canals antiques, puits...	nécropole
126	x	Place de l'église	Route de Mièvrevaux	c. 1820-1840	commune	Architecte départemental Grillo	Découverte fortuite	incinérations	nécropole
127	x	127bis	"Le Béhaut"	1820-1823	privé	J.-B. Prosper Jolios	sondages	inhumations	temples dédiés à Mars ?
128	x	Près de la place du Bourg	"Le Béhaut"	1843	commune ?	Emile Durand	sondages	piers d'un temple (60 x 10 m) ?	mausolée funéraire ?
129	x	Place des Halles	Bois des Hamets	1860	privé	J. Laurent	Découverte fortuite	macromerie	indéterminé
130	x	Rue de l'amphithéâtre	Le Verger	1935-1936	privé	M. Aubertin, 2012	Sondages	Amas de débris de marbre	aménagement de trottoir ?
131	x	Rue de l'amphithéâtre	Dérrière la Baronnie	1938	Conseil général		sondage	Mur et cunette	habitat ?
132	x	Chemin de l'argy	Rue des Roises	1976-1977	privé	Paul Chevillot, 1938	sondages	Murs de 0,60m d'épaisseur	Rempart
133	x	Rue des Roises	Rue des Roises	1908-1909	privé ou commune ?	M. Toussaint	sondages	Tour 11 de l'enceinte d'un diamètre de 10 m	Élément architectonique d'un temple ?
134	x	Rue des Roises	Rue des Roises	1908-1909	privé ou commune ?	Ch. Berraux	sondages	Chapiteau monumental au globe céleste	Élément architectonique d'un temple ?
135	x	Rue de la Mosaïque	Jardin Huguet	av. 1843	privé	M. R. Mathieu, 1978	sondages	Bloc d'architrave (MDAAC, C.I.L. XIII, 5940)	Élément architectonique d'un temple ?
136	x	Rue de la Mosaïque	Jardin Huguet	?	privé	M. et Mme Huguet	Découverte fortuite	Bloc architectonique (non localisé)	Élément architectonique ?
137	x	Rue de la Mosaïque	Jardin Huguet	1947	privé	M. et Mme Huguet	Découverte fortuite	Fragment de plaque de marbre (APO)	
138	x	Rue Houllon	Dérrière la Baronnie	2008	privé	P. Braquier	Prospection géophysique	Anomalies multiples	Voirie et habitat
139	x	Rue des Roises	Route de Liffolie-Grand	2011	privé	M. et Mme Moriot	Prospection géophysique	anomalies magnétiques ponctuelles	
140	x	Route de Liffolie-Grand		2011	privé	Th. Dechezleprêtre	Prospection géophysique		

## 5-Questionnaire pour établir le dictionnaire des données et réponses.

Nom Prénom :

**A. Resch**

**Th. Dechezleprêtre**

**J.-M. Tur**

Service, Fonction :

**AR** : Doctorante

**TD** : Conseil général des Vosges, conservateur

**JMT** : Archéologue

### 1-Missions

#### 1a-Description détaillée de la mission et de ses objectifs.

**AR** : Suite à une prospection de type LiDAR aux alentours de Grand, il était nécessaire de pouvoir la traiter. L'objectif était dans un premier temps d'obtenir un MNT (Modèle Numérique de Terrain) précis et dans un second temps de traiter les microreliefs/anomalies afin de proposer une carte archéologique des formes fossiles, c'est-à-dire conservées en relief.

**TD** : Coordinateur du Projet Collectif de Recherche sur l'agglomération antique de Grand dont l'un des objectifs est de rassembler la documentation accumulée pour la mettre à disposition des chercheurs, sous différentes formes (études monographiques, inventaire, édition, carte archéologique).

**JMT** : - Sept 2008-sept 2009 : 1ère année d'un Master en archéologie à l'université de Besançon ; - Sept 2009-sept 2010 : 2ème année d'un Master en archéologie à l'université de Besançon. Mémoire de recherche sur 2 ans : HABITATS DU SECTEUR NORD DE L'AGGLOMÉRATION ANTIQUE DE GRAND (Vosges).

La 1ère étape de ce travail de recherche : Rassembler toute la documentation disponible (sur un secteur correspondant au nord du village). Les informations disponibles, liées aux découvertes fortuites, à la consultation des archives, aux photographies aériennes, ont été rassemblées, dans un premier temps, dans un atlas topographique. Cet atlas réalisé à partir du fond cadastral de la commune, s'est enrichi au fur et à mesure des recherches d'informations diverses, notamment sur la toponymie ancienne ou sur l'occupation du sol actuel. Un inventaire, du matériel recueilli dans ce secteur, a été tenu de manière à faire le point sur tous les indices d'habitat mais également pour favoriser la caractérisation de certaines zones. Enfin, le redressement de plusieurs photographies aériennes, issues des campagnes de prospection de M. Loiseau, avaient permis d'améliorer la reconnaissance des vestiges sur ce secteur.

La 2ème étape du travail de recherche se devait de terminer l'exploitation de la documentation disponible, en s'intéressant notamment à la surveillance des travaux d'aménagements. Les données issues des prospections géophysiques de la campagne de 2009 et du LiDAR (Light Detection and Ranging) nécessitaient d'être traitées. Enfin, un des principaux objectifs était d'intégrer l'ensemble de ces données dans le Système Informatique Géographique (SIG) du site de Grand, géré par la cellule cartographique du Conseil Général des Vosges.

#### 1b-Comment s'est passé la mission ?

**AR** : Elle a duré deux années –les deux années de mon master- dans le cadre d'une autoformation totale.

**TD** : 1er PCR en 2009-2011 ; 2nd PCR en cours 2012-2014 avec à chaque fois un volet cartographique.

**JMT** : -

#### 1c-Pour qui est-elle réalisée ? Quelle est la fréquence de la mission ?

**AR** : Elle a été réalisée pour le PCR de Grand, et plus généralement pour le CG des Vosges. Unique (bien qu'elle mérite des compléments).

**TD** : Les chercheurs du site et, dans un second temps, le grand public.

**JMT** : Université + CG 88 ; continue sur 2 ans



1d-Y a-t-il d'autres intervenants (internes/externes) ? Lesquels ?

**AR** : Dans l'acquisition des données LiDAR et le premier traitement entre points de sol et points de sursol, la société Guelle et Fuchs est intervenue.

**TD** : Environ 20

**JMT** : -

1e-Quel est le type de mission (expérimentale, répétitive, ponctuelle) ?

**AR** : ponctuelle

**TD** : répétitive

**JMT** : ponctuelle

1f-Comment est présenté le résultat (cartes, rapport, tableau) ?

**AR** : mémoire

**TD** : Les trois

**JMT** : rapport

1g-Comment sont gérées les sorties (archivage, inventaire, des cartes) ?

**AR** : archivage

**TD** : les trois

**JMT** : archivage

1h-Rencontrez-vous des problèmes pour accomplir ces missions : données adaptées, outils adaptés...

**AR** : Pour résumer : Le plus gros souci a été de se procurer les outils nécessaires notamment à la visualisation en 3D des données LiDAR. Ensuite, il a fallu se former seule aux traitements de données, aux SIG...

**TD** : Faute d'avoir un responsable spécifique dans l'équipe permanente du site de Grand nous dépendons uniquement de la cellule cartographique du Conseil général dont les missions sont nombreuses et qui ne peuvent donc pas assurer un suivi régulier. Aussi, pour l'instant, on accumule les données et nous produisons ponctuellement des cartes de synthèse pour des rapports, des publications et des supports didactiques.

**JMT** : En 2008, le Système Informatique Géographique (SIG) du site de Grand, était géré par la cellule cartographique du Conseil Général des Vosges. Outre la distance géographique qui complexifie l'échange, les attentes, en termes de représentation cartographique, de l'archéologue chercheur peuvent être éloignées de la sensibilité du sigiste et de sa compréhension de la demande. Dans mon mémoire de Master, le travail cartographique représente environ 75% de la masse de travail. Mes demandes en terme de cartographie étaient trop chronophages pour les imposer au SIG du CG 88. J'ai donc créé un SIG personnel sur mon ordinateur portable avec toutes les contraintes que cela peut représenter pour communiquer les données (différences de logiciels, de coordonnées géographiques, etc..)

## 2-Données utilisées pour remplir les missions

2a-Lister les données utilisées pour remplir les missions. De quel type sont les données (papier, numérique (alphanumériques, vectorielles, matricielles) ?

**AR** : Données LiDAR brutes –points de sol.

Cadastre napoléonien

Cadastre actuel

Fiches de site archéologique –venant majoritairement de la Carte Archéologique.

Carte de Cassini

Carte d'Etat-Major

Cartes schématiques réalisés pour régler tel ou tel conflit de propriété

Elles sont toutes en format papier qu'il a fallu numériser voire vectoriser (notamment le cadastre napoléonien) –sauf les données LiDAR et le cadastre actuel qui sont de type vectoriel.

**TD** : - relevé LiDAR (topographie générale et indices de sites) ;  
- prospections géophysiques et aériennes ;  
- cartographies anciennes (cadastre XIXe) ;  
- relevés archéologiques (vestiges encore visibles, fouilles archéologiques programmées et préventives, puits et réseaux souterrains)  
- plans de fouille en format papier ;  
- découvertes isolées ;  
Tous les types de format.

**JMT** : - Documentation écrite (rapport de fouilles, articles, mémoire, etc..)  
- Données des prospections aériennes (photographies, photographies redressées et géoréférencées)  
- Données des prospections géophysiques (cartes géoréférencées)  
- Données du LiDAR  
- Données des cadastres anciens  
Type numérique (vectoriel)

## 2b-Quelle est l'échelle de travail ?

**AR** : Le territoire de la commune  
**TD** : Le territoire de la commune  
**JMT** : Toutes les échelles sont utilisées

## 2c-Comment ces données sont-elles utilisées : l'usage de ces données nécessite-t-il leur structuration ou n'implique-t-il leur mise en œuvre que comme fond d'image ?

**AR** : Tout dépend de quelle type de données et ce qu'on souhaite en faire : par exemple, une carte IGN par exemple peut ne servir que de fond de carte pour indiquer des sites connus mais la cadastre napoléonien nécessite un traitement pour faire apparaître les éléments remarquables et utiles à l'étude (haies, pierriers...).

**TD** : -  
**JMT** : Il nécessite une structuration

## 2d-Est-ce que ces données ont été acquises (IGN, INSEE, DGI), produites (comment, par qui ?), récupérées (où) ?

**AR** : Le LiDAR a été acquis par une société extérieure puis retravaillée par moi. Le cadastre actuel a été récupéré auprès de la cellule cartographie du CG. Et le cadastre napoléonien avait été numérisé par les archives d'Epinal. Le reste des données a été trouvé sur internet, aux archives, à la carte archéologique du SRA... et j'ai produit des données propres comme les couches des sites archéologiques (récupérés à la CA du SRA), ou des anomalies LiDAR (à partir du traitement des données brutes).

**TD** : récupérées  
**JMT** : les 3 possibilités

## 2e-Un catalogue de données existe-t-il ? -Si oui, comment est-il géré (papier, logiciel)?

**AR** : non  
**TD** : oui, logiciel  
**JMT** : oui, logiciel

## 2f-Savez-vous quelles sont les données disponibles et comment y avoir accès ?

**AR** : oui  
**TD** : oui  
**JMT** : oui

## 2g-Y a-t-il une charte graphique/cartographique appliquée par l'ensemble des acteurs ? Est-elle adoptée ?

**AR** : oui, oui  
**TD** : je ne sais pas, non

**JMT** : non, non

2h-Travaillez-vous avec des partenaires extérieurs ? Lesquels ?

**AR** : non

**TD** : SRA, Universités...

**JMT** : CG 88 + universitaires

### 3-Gestion des données

3a-Gérez-vous des données ? Si oui, lesquelles ?

**AR** : oui, Je gère les données LiDAR (visualisation des données brutes) et celles issues des données LiDAR (cartographie des anomalies)

**TD** : oui, - Base de données des vestiges immobiliers (Excel)

- Base de données du mobilier archéologique (Excel et Actimuséo-Filemaker)

- Base de données bibliographique (Orphée)

**JMT** : oui, toutes les données rassemblées pour le mémoire et produites par la recherche effectuée dans le cadre du mémoire

3b-Réalisez-vous des mises à jour ? A quelle fréquence ?

**AR** : non

**TD** : oui

**JMT** : non

3c-Comment les réalisez-vous (sous-traitance, digitalisation, récupération de fichiers externes) ?

**AR** : -

**TD** : souvent

**JMT** : jamais

3d-Y a-t-il un cahier des charges lorsque les données sont produites en sous-traitance ?

**AR** : -

**TD** : gestion directe et commande

**JMT** : -

3e-Y a-t-il un contrôle qualité effectué sur l'information après chaque mise à jour, y a-t-il une phase de validation ? Si oui, qui l'effectue et à partir de quoi ?

**AR** : -

**TD** : oui, Moi, en relation avec les collègues responsables de l'inventaire et de la documentation.

**JMT** : -

3f-Connaissez-vous la source de la donnée ?

**AR** : oui

**TD** : oui

**JMT** : oui

3g-D'autres services sont-ils utilisateurs de la donnée ?

**AR** : non

**TD** : non

**JMT** : oui

3h-Comment les mises à jour sont-elles répercutées dans d'autres services, utilisateurs de l'information ?

**AR** : -

**TD** : Pas de passerelles pour l'instant.

**JMT** : Il n'y a pas eu de mises à jour car le dossier a été transmis en une seule fois à la fin de mon travail de recherche. Ces données ont été archivées sur le serveur principal du musée de la mosaïque de Grand

3i-Pour les données alphanumériques, y a-t-il une nomenclature de dénomination des champs, des identifiants ?

**AR** : oui

**TD** : oui

**JMT** : non

#### 4-Matériel

4a-De quel matériel êtes-vous équipés ?

**AR** : PC de bureau

**TD** : PC

**JMT** : - Ordinateur portable / Ordinateur fixe

4b-Equipement machine ?

**AR** : Logiciel de SIG

**TD** : -

**JMT** : -

4c-Logiciels utilisés avec fréquence ?

**AR** : ArcGis GlobalMapper

**TD** : Excel, Actimuséo, Orphée, ArcGis

**JMT** : Global Mapper 11, ArcGIS 9.2

4d-Outils spécifiques développés pour répondre à une mission ?

-Périphérique d'entrée ?

-Périphérique de sortie ?

-Réseau ?

**AR** : Base de donnée ; Scanneur, clef USB/disque dur ; imprimante ; non

**TD** : non, ? ; ? ; réseau propre au Conseil Général

**JMT** : SIG personnel avec une multitude de couches cartographiques ; - ; - ; -

4e-Avez-vous des connaissances informatiques ? Précisez.

**AR** : Expert (logiciel-métier, SIG, programmation) ; Essentiellement SIG et cartographie.

**TD** : Moyen (DAO, Illustrator, tableur) ; DAO, PAO, bases de données Excel, Filemaker Pro, Actimuséo

**JMT** : Moyen (DAO, Illustrator, tableur) ; Pendant 3 ans, j'ai utilisé des logiciels SIG mais je les connais pas suffisamment pour me qualifier d'expert.

4f-Y a-t-il un correspondant informatique ? Une assistance existe-t-elle en cas de problème rencontré ?

**AR** : non

**TD** : oui : Direction de l'informatique du Conseil général, Cellule cartographique du Conseil général

**JMT** : oui : Sigistes du CG 88, Sigistes de l'université de Besançon, Sigistes de la DRAC Lorraine

#### 5-Mise en place du SIG

5a-Savez-vous ce qu'est un SIG ?

**AR** : oui

**TD** : oui

**JMT** : oui

### 5b-Quelles sont vos attentes quant à la mise en place du système ?

**AR** : De pouvoir regrouper plusieurs informations de sources différentes, ce qui permet des analyses, des études et des simulations plus faciles.

**TD** : - assurer la fusion des données qui ont été produites récemment à la faveur de travaux universitaires ;

- mettre en place une méthodologie permettant de saisir progressivement les données de la carte archéologique, par des personnes non expertes, compte-tenu de l'absence d'un référent pour la carte autre que moi ou des étudiants "de passage".

**JMT** : Facile à gérer mais apportant toute la précision que l'on doit être en mesure d'apporter lorsque l'on parle d'archéologie. L'arborescence des calques doit répondre de la manière la plus simple aux besoins des utilisateurs avec plusieurs fichiers principaux :

- Fonds cartographiques (IGN / Cadastres / Raster LiDAR)
- Prospections (pédestres / aériennes / géophysiques / Données brutes LiDAR)
- Données de fouilles (2009 / 2010 / 2011, etc. )
- Interprétation des données de prospection

Ensuite, il faut apporter la précision :

Ex : Prospection - Géophysique - Magnétisme - 2009 - 0.5 mètres

### 5c-Pour quelles applications précises ?

**AR** : Recherche archéologique (potentiel, plan d'ensemble...)

**TD** : - gestion des données archéologiques produites dans le cadre du PCR et mise à disposition des chercheurs et des différents acteurs (communes, DRAC...).

- suivi et normalisation des données acquises sur le chantier de fouille de la rue du Ruisseau.

**JMT** : Pour projeter les données disponibles, créer des cartes, identifier des secteurs à enjeux et mener des interprétations

### 5c-Quelles sont les améliorations principales attendues ?

**AR** : -

**TD** :

- pour les chercheurs cf. 5b

- pour l'équipe interne : pouvoir s'approprier pleinement l'outil SIG pour enrichir directement et exploiter les données ;

- profiter de la réflexion en cours pour élaborer un guide méthodologique adapté aux besoins du site et aux ressources humaines ;

**JMT** :

Sur le stockage des données : Réfléchir au plus vite à une arborescence

Mettre en place une charte d'utilisation :

- Présentation de l'arborescence
- Règles pour utiliser
- Règles pour enrichir la base de données

### 5d-La mise en place du SIG vise-t-il un développement de nouveaux usages ?

**AR** : oui

**TD** : oui, cf. 5d + articulation à prévoir avec la plateforme en cours de construction (webservice).

**JMT** : oui, - Analyse de répartition des objets (Sur ArcGIS) :

NB : Pour cela il faut obtenir un cadastre avec des polygones ce qui n'est pas le cas pour le moment. Ensuite on pourra associer un tableau Excel (inventaire du mobilier archéologique) à chaque espace fouillé (parcelles pour le mobilier issu des prospections pédestres, puits, etc..)

Exemple d'utilisation : Faire ressortir en cartographie tous les puits contenant du mobilier des Ier et IIème s.

### 5e-Existe-t-il une demande potentielle interne ?

**AR** : oui

**TD** : oui

**JMT** : oui

5f-L'objectif est-il vraiment d'actualité ?

**AR** : Oui

**TD** : OUI OUI OUI

**JMT** : Définitivement oui. Avec le développement des méthodes non destructrices, l'archéologie passe presque exclusivement par un traitement cartographique.

5g-Avez-vous des remarques à formuler quant à la mise en place du SIG ?

**AR** : Il faut bien penser en amont aux objectifs et mode d'utilisation (personnelle, interne, externe...) du SIG. Ne pas hésiter à rencontrer tous les acteurs pour définir un cahier des charges précis. Ne pas hésiter à simplifier s'il est possible de retrouver la donnée brute : par exemple, si le SIG doit principalement recenser les sites connus, il est inutile de vectoriser les plans de fouille ; notamment si on peut les retrouver au même endroit que la consultation. A l'inverse, si on souhaite produire une carte de l'agglomération antique, il est nécessaire de vectoriser ces plans.

**TD** : - nécessité d'intégrer l'évolution informatique portée par la cellule cartographique du CG ;  
- pour les objectifs : rester modeste pour être en capacité de mettre en oeuvre rapidement la nouvelle architecture du SIG mais prévoir la possibilité d'évoluer vers d'autres applications plus élaborées, en fonction des ressources humaines de l'équipe permanente.

**JMT** : Attention à ne pas monter une usine à gaz ! Faire un SIG ne signifie pas compiler toutes les données disponibles. Il faut réfléchir sur les différences d'échelles et se retenir de ne pas faire systématiquement du pierre à pierre sur ArcGIS. En effet, les cartes au 5 000ème ne demandent pas tant de précision. Par contre, il serait intéressant de projeter tous les plans "masse" en même temps (Avec une actualisation si les fouilles se concentrent sur un même secteur). NB : Le plan précis d'une fouille peut être réalisé sur un fichier géoréférencé à part (on pourra l'intégrer en temps voulu sans alourdir les données de base dont on se servira plus souvent). Si un tel fichier existe pour une fouille, il serait intéressant de tracer les polygones des salles ou fosses éventuelles pour projeter leur mobilier. Appelez moi si besoin.

5h-A quel niveau pensez-vous vous placer dans le système (utilisateur, gestionnaire de données, administrateur, consultation) ?

**AR** : Créateur de données et utilisatrice.

**TD** : à défaut

**JMT** : gestionnaire de données

5i-Quelle aide attendez-vous (formation, documents...)?

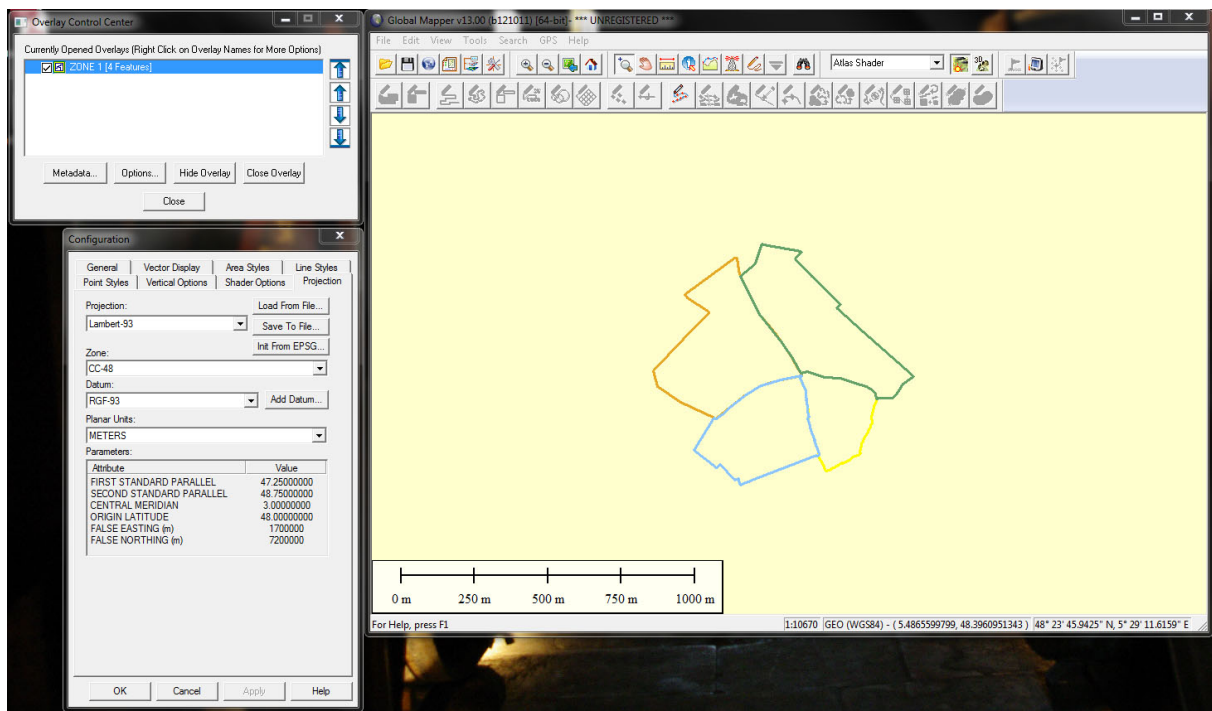
**AR** : formation

**TD** : formation

**JMT** : -

## 6-Re projection de données avec Global Mapper.

- En haut à gauche, fenêtre de gestion des couches de données : cette couche de données porte le nom de « zone ».
- Partie à droite : fenêtre de visualisation des données ;
- Fenêtre en bas à gauche : fenêtre de configuration ouverte dans l'onglet projection. Le menu déroulant permet de transformer les données et de les re-projeter dans le système de projection souhaité. Il faut ensuite exporter les données sous un fichier de type vectoriel (.shp) pour l'import dans le SIG.



## 7-Numérisation manuelle du cadastre napoléonien.

-Partie de gauche : couches dans l'environnement de travail,

A l'affichage dans la fenêtre de visualisation :

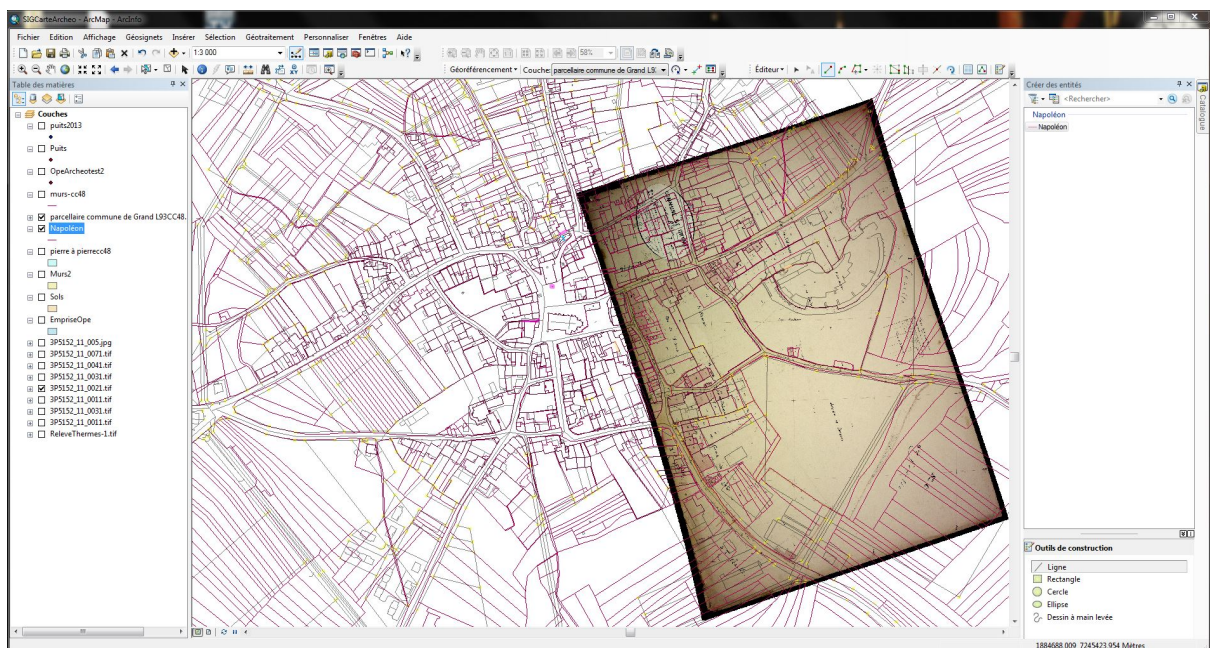
- le parcellaire actuel (en gris)
- « napo » : le parcellaire napoléonien en cours de numérisation (en rose)
- image 3P5152-11-0021.tif : feuille de cadastre napoléonien recalée.

-Pour modifier les entités géométriques : clic droit sur la couche à modifier

- Modifier les entités / Ouvrir une session de mise à jour.

- Ouverture de la fenêtre de droite « Créer les entités » : la couche sur laquelle on travaille est indiquée, en bas, sélection du type de trait pour faire les modifications.

- Un fois les modifications terminées, il faut enregistrer la session de modifications.





## 8-TWCC, the World Coordinate Converter.

The screenshot displays the TWCC website interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'A propos de TWCC', 'Nous contacter', and 'Faire un don'. The main header reads 'The World Coordinate Converter' and 'Le convertisseur de coordonnées universel'. Below this, there are tabs for 'Coordinate', 'MAP of The World', 'Convertir', and 'GPS MAP'. A search bar on the right prompts 'Recherche par adresse : indiquez un lieu' with a 'Chercher' button. The map area shows a topographic view of a region in France, with a pop-up window titled 'Déplace moi !' providing coordinates for '9 Rue de Liffol le Grand, 88350 Grand, France' (48.3636702°N, 5.4864636°E, 378m). The right sidebar contains two conversion panels: 'Lambert II Centre' (X: 833318.29, Y: 380757.78) and 'RGF93 / CC48' (X: 1884129.67, Y: 7245627.97). The map interface includes a search bar, a 'Chercher' button, and a 'Options' menu with 'Manuel' and 'CSV' options.

## Article proposé pour DigitalHeritage 2013

# *Construction of an archaeology and cultural heritage oriented GIS in order to document an ancient city*

*Case study of the archaeological site of Grand (France)*

Authors Name/s per 1st Affiliation (*Author*)

Dept. name of organization (*Line 1 of Affiliation - optional*)

Name of organization - acronyms acceptable (*line 2*)

City, Country (*line 3*)

name@xyz.com – optional (*line 4*)

Authors Name/s per 2nd Affiliation (*Author*)

Dept. name of organization (*Line 1 of Affiliation - optional*)

Name of organization - acronyms acceptable (*line 2*)

City, Country (*line 3*)

name@xyz.com – optional (*line 4*)

**Abstract**—This paper offers an analysis of the first steps of the implementation of a G.I.S. archaeology and cultural heritage oriented on the archeological site of Grand in order to document the archeological map. The implementation of a G.I.S. tool makes possible a precise localization of old excavations. All the archeological operations are no longer separate but gathered and synthesized in order to build a coherent spatial database on the scale of the archeological site. The short-term target is to share archeological information, while the long-term goal is to keep on backfilling and updating this database. This G.I.S. implementation is the first step to go further on in spatial analysis.

This project is supported by the archeological team of the Conseil Général des Vosges, in collaboration with the G.I.S. team in the Conseil Général in Épinal. At the end of the 2013 excavation campaign, the archeological map of the site contained in the G.I.S. will be loaded into the Cultural file of the Conseil Général G.I.S. The modelization of the G.I.S. with the archeological data from Grand is an experience to repeat with others sites in the G.I.S. of the Conseil Général. The update of old archeological data is a stake for data conservation and diffusion. The diffusion of spatial data go over the archeological subject: G.I.S. is not only a spatial management tool. It becomes also a human science research tool that can bring closer territorial institutions and research groups.

This project is inscribed in the wake of several G.I.S. archeological projects that prove the relevance of G.I.S. as an archeological tool. In a first section, a state of the art provides a description of the various G.I.S. projects serving as references for this project. In a second section, the G.I.S. project is precisely described: milestones of the project, data modeling and working hypothesis. In a third section, a provisional balance is drawn and new perspectives are sketched out for the future. (*Abstract*)

**Index Terms**—Keywords—; Grand, archaeology, G.I.S., urban archaeology, archaeological map, ancient city

## I. INTRODUCTION : CONTEXT AND LOCALISATION

Grand is located in the Vosges mountains, in the Eastern part of France. The site has been known since the 18<sup>th</sup> century for the importance and the quality of its ancient ruins. Besides a still active wood industry, Grand's activity

mainly revolves around archaeological research and cultural tourism. Regarding geological details, Grand is located on a karst plateau. Its underground terrain presents many limestone fissures creating a web of parallel and perpendicular lines. Because of this very fact, geological prospecting and research concerning the drainage basin are closely linked. Grand is one of the few ancient cities not implanted on a river side. The 2013 conference “*Agglomérations et Sanctuaires : réflexion à partir de l'exemple de Grand*” (Dechezleprêtre) allowed for a new questioning of the concept of “city-sanctuary”. Many themes were examined such as a reflection on the place and role of a sanctuary in the ancient city in the light of new data obtained through geological surveying and new excavation programmes, the organisation of the sanctuary on the urban pattern, and the presence of water. Grand research results were revealed on the occasion of this conference and archaeological hypothesis have been thought a new. These research are organised around a “Projet Collectif de Recherche” (Collective Research Project, CRP)[1], that went from 2009 to 2011, and was prolonged in 2012. T. Dechezleprêtre (*conservateur, Conseil Général des Vosges, UMR 8546 Archéologies d'Orient et d'Occident*) is the leader of the CRP and is seconded by a Scientific Council led by John Scheid. The CRP falls into three main units. 1) The gathering of documentation and study of collections. 2) Grand urban organisation and dwelling. 3) Grand's plateau topography and land using. The archeological map of the GIS project belongs to the first branch of the CRP. It logically follows the gathering of documentation and archives in order to create a document base (first CRP). Such a phase was necessary to gather all the data needed for the implementation of a GIS destined to the archeological map of Grand. The GIS aims at making the synthesis of mapping data, of surveys, of orthophotos, of LIDAR and so on, easier. It will then make cross reference possible with data

that were, until now, aliens. This will entail new analysis and interpretation.



Fig. 1 Archaeological Map of Grand (Adobe Illustrator): loss of geo referencing.

To this day, a vectorial drawing software (Adobe Illustrator) was used to draw a synthesis under the form of a map, but this method showed its limits concerning spatial analysis of data and precise localisation of ruins. The GIS necessitates a new exactness when geo-referencing archaeological objects on any level. Both the GIS and the archaeological map were drawn with ArcGIS 10.1, and GlobalMapper 13 was used to harmonize the GIS with the software tools of the Mapping Department of the Conseil Général des Vosges.

## II. STATE OF THE ART

How specialists define a GIS is of little importance in this particular case. What matters concerning Grand are the specificities of a GIS and how they apply to archaeology In RODIER (2011)[1], a GIS model applied to archaeology is defined respecting its main functionalities - the five As: Abstract, Acquire information, Archive, Analyse and display -

in relation to how to use them in archaeology with the documents that are associated to them.

<p>Abstract:  a real world model displayed as conceptual diagram is a necessary precondition for structuring an information system. In this case, we have to formalise the objects of archaeological study before modelising according to objective and scales of analysis .</p>			
<p>Acquire :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-field surveys</li> <li>-topography</li> <li>-photography</li> <li>-geo-referencing</li> <li>-CAD</li> <li>-stratigraphic information</li> <li>-surveys</li> </ul>	<p>Archive :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-document management</li> <li>-excavation data and plans (thematic and temporal queries)</li> <li>-inventories</li> </ul>	<p>Analyse :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-post-excavation exploratory study</li> <li>-cross-checking with other data (written sources, historical maps, environment)</li> <li>-spatial répartition of objects, structures</li> <li>-archaeological potential and prédictive modeling</li> <li>-population dynamics</li> <li>-networks, flows, roadmaps...</li> </ul>	<p>Display :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-thematic mapping</li> <li>-document for Final Return Operation Report (Rapport Final d'Opération)</li> <li>-automatic page layout</li> <li>-data publication</li> <li>-online databases (web mapping)</li> </ul>

Schéma universel de principe décrivant les formes élémentaires des SIG dans le Que sais-je? de J. Denègre et F. Salgé peut être renseigné par les étapes ou opérations du processus de travail archéologique : on obtient ainsi un premier modèle spécifique à l'archéologie. (in Rodier, 2011, p.69)

Fig. 2 The 5 As of archaeological GIS: Abstract, Acquire, Archive, Analyse and DisplAy.

In the case of Grand archaeological map, there is a large amount of initial documents and of a very heterogeneous nature. All were accounted for in an Excel chart. There is a multiplicity of forms, scales, and origins. The GIS will make synthesis and cross analysis (spatial and temporal modelling) possible.

*A. Spatial and Temporal Data Modeling in the historic GIS*

In COSTA (2012)[7], building some geo-historical referential is a necessary step for interdisciplinary to happen in such historical sciences as archaeology. As Costa puts it “les nouvelles logiques de recherche sont basées sur des principes de fédération et de mutualisation des informations qui bien souvent permettent d’aller au delà des besoins initiaux et ouvrent par conséquent sur des potentiels de partage et de réutilisation jusqu’ici inenvisageables”(“New research logics are based on principles of federation and collectivization of information which often allow going beyond the initial needs and, thus, opening on unimaginable possibilities of re-use and sharing of these data.”). In Grand, the implementation of the GIS mobilised numerous and different actors in a collaborative process: there has been a partnership with the GIS Department of the Conseil Général des Vosges. Data are going to be fed into the Department’s GIS, and accessible thanks to a remote access platform. Such a collaborative process allows (to put data together for everybody) for a putting together of data for all the people, no matter in which different department they work. Professional data are added or updated by the most competent persons according to the field of study *via* remote access. The protocol for this updating is still to be defined with the Mapping Department. Data modelling of an archaeological data specific to Grand raises the same questions as other archaeological GIS concerned with ancient urban spaces. There’s a vast literature on that subject: RODIER (2000)[3], LEFEBVRE (2008)[4], HÉRON (2003)[5], DELLONG (2006)[6]. Such characteristics as the importance of the synthesis of existing data and the small budget of the operation, link Grand’s project with what was made in the ruins of ancient Narbonne and its close country (DELLONG, 2006). Spatial and temporal modelling are archaeological specificities because of the definition of space as a foundation for human activities. It reminds us of the concept of “geo-historical landmarks” (COSTA, 2012)[7].

Temporal aspect:

An archaeological problem is time: period and patrimony. “Recent” patrimony: 18<sup>th</sup> century, 19<sup>th</sup> century... The article (PAQUES, 2004) [8] proposes a synthesis on the temporal problem in GIS. It is a primordial necessity in the study of the past to “give an image if the history” of spatial elements. Now, modelling temporal data represents the difficulty. To overcome it, two notions are essential: temporal interval and temporal resolution.

*B. OH-FET model*

Archaeological objects modelling was based on a model developed by the network research group ISA[2] (Information Spatiale et Archéologie: Spatial Information and Archaeology), the OH-FET model (Objet Historique - Fonction, Espace, Temps: Historical Object - Function, Space, Time)[9]. Such a modelling aims at the understanding of a complex system in a large time scale. Ancient urban space is archaeologically defined by irregular shapes in length and width, with a rich density of ruins. The seizing of urban space is realised through the notion of Historical Object (HO). An HO is defined through three dimensions: 1) Function (social use), 2) Spatial (localisation, width, and morphology), and 3) Time (dating, chronology). All HO share these dimensions, no matter the scale on which they are considered. OH-FET model allow examining all these dimensions, under whichever combination. Every one of these dimensions is a complex object, formed of simple objects (functional, spatial and time entities). A conceptual scheme based on the OH-FET model respects all these dimensions specificities and the goal to be reached. Function is organised according to a typological tree model, based on collective thesaurus. A given space is analysed in small spatial features. Time, represented as linear, has not been, for the SI, an object of specific modelling. We propose a time modelling analogue to space modelling.

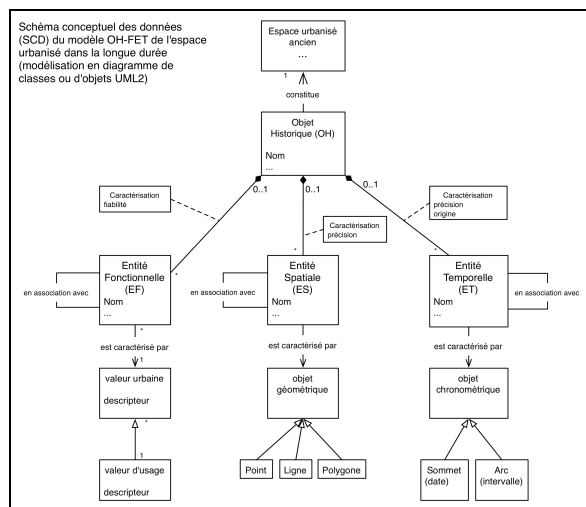


Fig. 3 Conceptual Data Scheme of the OH-FET model

III. IMPLEMENTATION OF THE ARCHAEOLOGICAL MAP GIS PROJECT IN GRAND

The GIS was born of an urgent need for the synthesis of mapping data of Grand. PCR November 2013 scientific council stressed how necessary was such a synthesis of mapping data in a GIS form. The project started in 2013 and knew different steps: 1) defining the need for the project regarding the given means, 2) gathering of data (including

archives digitising) and creation of a database, 3) conceptual modelling of these data, 4) creation of a spatial database and, 5) tests and verifications.

#### A. Needs for the project, goal and resource assessment

The different participant's needs were questioned through a series of online questions on Google Drive. These questions were of five sorts: 1) concerning the participants' work, 2) concerning which data would be useful for any given work, 3) concerning the management of data, 4) concerning the tools used, 5) concerning the implementation of the GIS. These questions were not directed towards GIS specialists but to participants who used, created and transformed archaeological data in Grand in whatever forms or of whichever types and so on. There is only a limited number of actors in Grand, which made the analysis of the answers easier. What the GIS must first cover is the need for a synthesis of the data and their translation in map. The GIS allows for a normalisation of the documentation concerning Grand, both in form and contents.

#### B. Gathering data, creating the database

Many data are still in many different hands and, because of such a scattering, gathering them took a long time (this was an objective of the first step). During this gathering, the use of Google Drive simplified the transfer of electronic files to a large extent. Every gathered document was indicated in a chart and archived in a saving file. For example, plans of surveys, photographs, inventories... Regarding documents on paper or on tracing paper, most of the time of a scale larger than A3, digitising was made possible thanks to a large scale digitiser. Grand site still possesses many archive documents to digitise. Because of their frailty, they are hard to move or to digitise.

The founding document is the 2010-2011 Excel chart realised by T. Dechezleprêtre, which sums up all archaeological operations. It contains all the following information:

1) Archaeological number: it is a unique id for every archaeological operation.

2) Year: date of excavation or of invention.

3) Address: these localisation information lack in precision but are an absolute need to pinpoint precise location, most notably for ancient excavations.

4) Place: cadastral place is the first localisation mark. Many archaeological operations are localised thanks to cadastral information. Lacking in precision, it is still needed for a more precise geo-referring of the operations. The cadastral lot is the first level of localisation, followed by more precise information when possible.

5) Owner: classified information which yet allows contacting easily the owner of the place (*e.g.* in order to ask authorisation of excavations for instance). They are very important for the management of the operation on a parish level.

6) Leader of the operation: who is in charge of the operation?

7) Type: what kind of operation. "Archaeological operations" is a name that covers a wide range of things: random discoveries, prospecting and so on and so forth.

8) Ruins / interpretation: these two colons inform us about the kind of ruins that is concerned and how they are interpreted.

This chart is a foundation for the archaeological map GIS project, though it must be completed and adapted in order to add information in the GIS spatial database.

#### C. The most important step: conceptual modelling of the data. (CMD).

UML2 was the modelling language chosen (DEVRAUWER, VAN DER HEYDE, 2005)[10] because it is the most common today. That is why it has been preferred to HDBS or Entity Association. UML2 makes possible to describe object in all independence from technologies. No matter what technologies are used for the implementation (*e.g.* geo database as Arcgis or spatial database as PostgreSQL/PostGiS), an UML2 model is understandable outside any specific technology.

CMD consists in adapting the Ho-FET to Grand's case, to the available data and to the GIS goals. Grand's special preoccupation modifies the HO-FET generalist model. The classes chosen for modelling are as follows:

1) Archaeological operations.

2) The "geometrical objects" linked with the operation, which allow making a difference between the spatial entity of the historical object and the width of the operation. These two things do not always cover the same span. If the operation is temporal (random discovery, lack of localisation information), it is translated as a dot. And if it designs an area (excavation), it is translated as a polygon.

3) "Type operation archeo" shows if it is a prospection or a random discovery or anything else. A list of operations is provided, with a definition of each one.

4) "Site": this item was added to facilitate the exportation of the model to other sites in the department.

5) "Urban use / use value" (*valeur urbaine / valeur d'usage*): through the use of the CNAU thesaurus grid for the formal description of the entities, a normalisation of attributive data concerning every function. This grid is commonly found in archaeological GIS. It consists in a fairly simple typology of the urban functions and use of urban spaces. We can use the thesaurus to define both the archaeological ruins and the more recent buildings of the city.

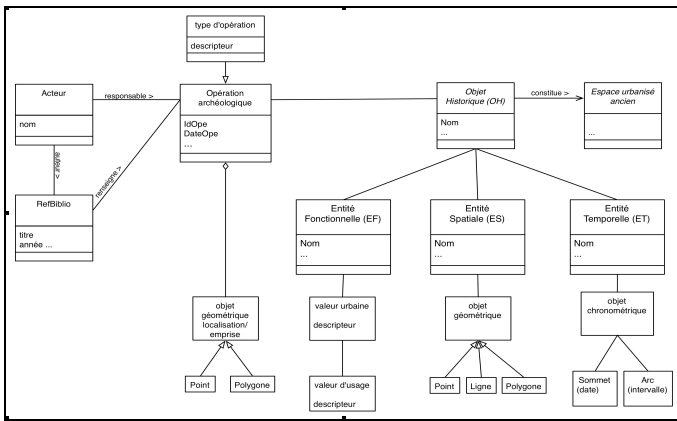


Fig. 4 Conceptual modeling of archaeological data

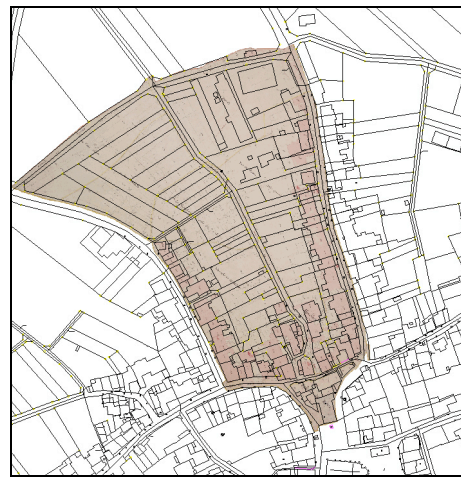


Fig. 6 : Napoleonic Land Register (Moucherie area): raster mode.

<p>1. Road infrastructure, public spaces</p> <p>11. Roads, streets</p> <p>12. Open spaces</p> <p>13. Riverfront</p> <p>14. Relief, topography, slope</p> <p>15. Crossing</p> <p>16. Water distribution</p> <p>17. Water collection, drainage system</p> <p>18. Monuments, ruins</p> <p>19. Unknown monumental edifice</p> <p>2. Defensive and military structures</p> <p>21 urban defensive system</p> <p>22. Fortified structures</p> <p>23. Garrison and army barracks</p> <p>3. Civil construction</p> <p>31. Public spaces</p> <p>32. Civil law and court system</p> <p>33. Education, culture</p> <p>34. Health</p> <p>35. Entertainment, sports</p> <p>36. Water, baths, thermes</p> <p>37. Housing</p> <p>4. Religious buildings</p> <p>41. Pagan cults</p> <p>42. Catholic cultural edifices</p> <p>43. Convents and monasteries</p> <p>44. Church buildings</p> <p>45. Cults other than the Catholicism</p> <p>46. Parish churches.</p>	<p>5. Burial sites</p> <p>51. Funeral space</p> <p>52. Parish cemetery</p> <p>53. Particular burial site</p> <p>6. Place of business, art and craft, production</p> <p>61. Business, exchanges, shops</p> <p>62. Art and craft, workshops</p> <p>63. Agriculture, breeding</p> <p>64. Factory, industrial building</p> <p>65. Extraction, mines and carries</p> <p>7. Natural landscape</p> <p>71. seaside</p> <p>72. River</p> <p>73. Wetlands</p> <p>74. Deposits of slope</p> <p>8. Others</p> <p>81. Indetermined</p> <p>82. Lack of occupation</p> <p>83. Abandonment</p> <p>9. Outside urban space</p> <p>91. Complex institution without urban characters</p> <p>92. Peripheral structure.</p>
--	---

Fig. 5: Urban and Use values from the CNAU collective thesaurus (from 1 to 9 urban values, 11 to 92 use values)

#### D. Land register and LiDAR.

Present day land register has been elected as mother-layer in cross-referencing purpose. The LiDAR layer is more accurate than the land register, but the latter served as a bottom layer to establish many excavation maps. It therefore displays landmarks (e.g. lot borders, cornerstones, etc.) which help us to localise sites alluded to in ancient documents, which is not the case for the LiDAR. Using the land register presents another advantage which is the possible digitising of old land register papers (dating from 1886, also called “cadastre napoléonien”).

The GIS opens new analysis perspectives, notably thanks to the cross referencing of the two cadastral layers. Napoleonic land register does not immediately concern archaeological content but we have to note it is covered with annotations, which may hint at archaeological discoveries. In the long run, Grand’s archaeological map GIS will try to gather patrimonial data (recent data included). It already indicates the 500 meters protection circles around historical monuments. The Napoleonic cadastral structure and the buildings lists are isolated on different layers for now. Ancient land register is digitised manually, from the old land register documents, superimposed on the present one, and corrected accordingly.

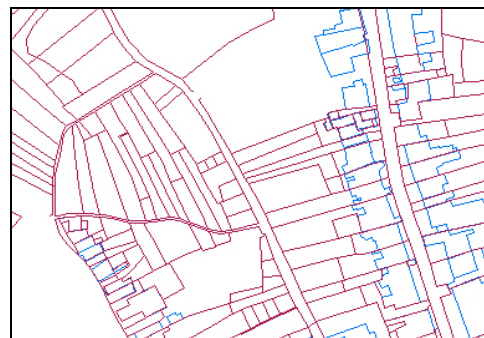


Fig. 7: Digitalization of the Napoleonic land register.

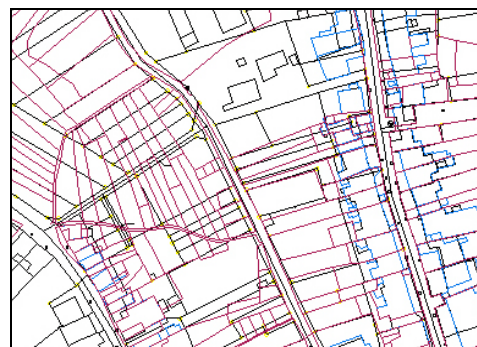


Fig. 8: Result of the digitalization (in black, present day land register, in red, Napoleonic land register, in blue, buildings of Napoleonic land register)

Such digitising is long and hard but its results are promising. The old lots division shows an organisation in lanes specific to the region (RESCH, 2012)[11]. On the present day land register, we see that these lots organised in lanes were had been reorganised by the city. Napoleonic land register sheets contain a lot of pertinent information, but they are difficult to read in raster mode. Translating this information (not only cadastral borders and building list) is a trail to follow in a near future.

#### E. Tests and verifications

July 2013 excavations campaign creates an occasion to check on the data (old excavations) and to feed the GIS with new data and to test the data acquisition process of the GIS. Tests will be focused on a particular type of data: wells and underground galleries of Grand. We aim at creating a method of data acquisition facilitating their integration into the GIS. Data acquisition will be done in alliance with a team of speleologists. This mission has been prepared through the notation by a geomatics engineer of the localisation of every well in the parish. This first localisation enables us to draw some conclusions on the state of knowledge about wells, for the study of underground water network had been started in the 1970s by J.-P. Bertaux. His work was a first concerning wells and water galleries in Grand. Then, at the end of the 2000s, this work was continued by Claire Brinon (BRINON, 2012)[12]. We prepared a document to complement the information concerning the wells already known and accounted for (wells typology).

#### IV. CONCLUSION, PROVISIONAL BALANCE AND NEW PERSPECTIVES

The initial phase of the GIS project is over, defining the needs, the construction of the data architecture. The further development of the GIS project consists of data integration. Recent data can be easily operated in the short-term. The integration of old data is quite long because this step is done manually and gradually only on the site to cross check archaeological data. It's necessary to verify the reliability of information. The information reliability is a pre condition to validate archaeological data in the GIS. Forward, the archaeological GIS will be a part of collaborative GIS. The issue is to involve people in the process of GIS. This objective must lead to change our work habits. The parameter of accuracy clarification is a process of adaptative correction.

In the evolution of GIS, the phase of growth is necessary to reach the maturity in the project. Several archaeological issues can be renewed with GIS. For example, the fortification of Grand is quite well known. But the precise localization is missing to document the archaeological map. A lot of evidence are visible in several caves in the village. These elements are recurrent as the wells. An other test of data acquisition is possible with the fortification.

For the GIS development, there are 2 possible directions: first, it concerns the extension of GIS to heritage and not only archaeological data. The thesaurus lists and the time modelization is in question. The second direction is about the transformation of 2D GIS in 3D GIS to design the water underground corridors and wells. The 3D GIS could be used as a basis for virtual showcase. The physical visit is impossible now for the public. The virtual visit is a solution to see the remains in a virtual reality.

Concerning the conceptual model, a perspective is to apply this model to others sites with their own archaeological specific features.

#### REFERENCES

- [1] Bilan du Projet Collectif de Recherche 2009-2011, l'agglomération antique de Grand, 2011.
- [2] X. Rodier (sous la direction de), *Information spatiale et archéologie*, Ed.Errance, Paris, 2011, p.23 pp.66-72.
- [3] X. Rodier, "Le système d'information géographique TOTOPI, topographie de Tours pré-Industriel", *Les petits cahiers d'Anatole*, 4, 2000.
- [4] B. Lefebvre, "Modéliser les dynamiques spatiales d'un tissu urbain dans la longue durée (en plan et en volume)", *In Situ*, 9, 2008.
- [5] C. Héron, La carte archéologique de Saint-Denis : description et organisation des données", *Les petits cahiers d'Anatole*, 2002.
- [6] E. Dellong, "Un SIG archéologique consacré à Narbonne antique et à son proche terroir", *Le médiéviste et l'ordinateur*, 44, 2006.
- [7] L. Costa, "La construction des référentiels géo-historiques : un enjeu pour l'interdisciplinarité dans les sciences historiques," in *L'espace géographique*, 2012/4, Tome 41, pp.340-351.
- [8] D. Paques, "Gestion de l'historicité et méthodes de mise à jour dans les SIG," *Cybergéo*, (<http://cybergeo.revues.org/2500>).
- [9] H. Galinié, X. Rodier, L. Saligny, "Entités fonctionnelles, entités spatiales et dynamique urbaine dans la longue durée," *Histoire et mesure*, XIX, 3/4, 2004 (<http://histoiremesure.evues.org/761>).
- [10] L. Debrauwer, F. Van der Heyde, *UML2*, Ed.ENI, 2005.
- [11] A. Resch, *Les traces fossiles à Grand (Vosges) à travers le relevé LiDAR*, mémoire de master, 2012.
- [12] C. Brinon, *Etude de la ressource en eau du site gallo-romain de Grand et de sa gestion antique*, these de doctorat, Univ. Paris 6, 2012.