

LEVER-NIVELÉ DE LA PLACE DE BARCELONE, 1823-1827 : COMMENT OBTENIR UN MODÈLE 3D ?

par Blanca Baella[†], Dolors Barrot et Maria Pla

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)

Parc de Montjuïc - 08036 Barcelona

dolors.barrot@icgc.cat maria.pla@icgc.cat

www.icgc.cat

La découverte de la carte militaire «Lever-nivelé de la place de Barcelone, 1823-1827» et son grand niveau de détail a amené l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) à essayer la mise en place d'une base de données spatiales et de modèles 3D à partir de sa numérisation. Dans cet article nous présenterons trois aspects des travaux : l'orientation de la mosaïque, la jonction des feuilles numérisées et des estimations pour établir une transformation des coordonnées pixel à ETRS89-TM31, l'étude pour la définition du catalogue et du modèle de données avec des recommandations sur la méthode de travail, et le développement de l'environnement de travail et les outils nécessaires à la digitalisation 3D.

Mots-clés : géoréférencement, modèle numérique de terrain (MNT), modèle numérique de surface (MNS), vectorisation.

The discovery of the military map Lever-nivelé de la place de Barcelone, 1823-1827 and their high level of detail led the ICGC to try to build a spatial database and different 3D models from their digitization. This paper presents three aspects of the work: the orientation of the mosaic, junction of digitized sheets and estimations to establish a transformation of pixel coordinates to ETRS89-TM31, the study for the definition of the feature catalogue and the data model with recommendations on the working method, and the development of the work environment and tools for the 3D object digitization.

Keywords: georeferencing, digital elevation model (DEM), digital surface model (DSM), vectorization.

Projet

Après la découverte, dans les archives du Service historique de la Défense (SHD) à Vincennes, des 54 planchettes et du mémoire qui composent la carte manuscrite du *Lever-nivelé de la place de Barcelone, 1823-1827* basée sur une triangulation, contenant des courbes de niveau pour la symbolisation du relief et utilisant un langage cartographique moderne, la direction de l'ICGC a eu l'initiative d'apporter son expérience afin de construire une base de données spatiales avec l'information fournie par les minutes et appliquer les méthodes actuelles pour obtenir un modèle numérique des élévations du terrain, c'est-à-dire, le relief du terrain nu sans végétation ni construction ; un modèle numérique des élévations de la surface du terrain avec les constructions, et un modèle LOD2¹ où les bâtiments et les constructions sont représentés avec leurs structures des toits et leurs surfaces limites différenciées thématiquement (Open Geospatial Consortium, 2012).

Le projet a été organisé en trois phases : le géoréférencement des données selon le système de

référence officiel, la forme du schéma d'applications et du catalogue des objets, la capture de l'information dans un environnement productif adapté aux besoins du modèle avec des outils informatiques spécifiquement développés pour le projet.

Géoréférencement

Pour la restitution du paysage, du relief et des constructions, on pourrait utiliser le système géodésique de référence original. Mais le projet vise à aller au-delà d'une photo fixe et fournir des éléments permettant d'analyser l'évolution des objets et des couvertures du territoire grâce à des études comparatives avec des données plus récentes.

Le matériel disponible pour déterminer la transformation entre le système de coordonnées des documents originaux et le système actuel demeure le mémoire des travaux de triangulation du lever, l'origine de l'altitude décrite sur la planchette n° 15 : « Le plan général de comparaison, pour le nivellement, passe à 100 mètres au-dessus d'une marque faite à l'entrée du Fort Mont Jouï à l'angle situé à droite et du

1 LOD2 de l'anglais *Level Of Detail*, c'est-à-dire, niveau de détail

côté de la ville du lit supérieur du socle de la colonne gauche de la porte. », et les 54 feuilles numérisées par le SHD sur lesquelles nous trouvons les points de triangulation identifiés avec les coordonnées géographiques et les mesures, le nord magnétique et le nord géographique, les points cotés et les courbes de niveau, les éléments communs à deux planchettes et les objets identifiés sur les cartes modernes.

Planimétrie

Pour calculer la transformation ERTS89-TM31 il a fallu un ajustement par faisceaux car les points de référencement (ou de référence) étaient insuffisants sur chaque planchette. 657 points de rattachement ont été identifiés dans les zones de chevauchement et 122 points de soutien sur la cartographie actuelle (fig. 1).

Le résultat est une transformation de Helmert (rotation, translation et homothétie) par planchette avec un RMSE de 1,025 m aux points de rattachement et de 0,667 m aux points de soutien. Pour améliorer les transformations il faut densifier les points de contrôle dans la zone nord, ou étudier le mémoire pour affiner les observations et déterminer les mesures des planchettes afin d'utiliser les points de triangulation avec les mesures annotées sur ces mêmes planchettes.

Altimétrie

La transformation du système de référence vertical se compose d'une translation, pour changer l'origine, et d'une rotation, pour changer la direction de l'agrandissement de la hauteur. Le niveau de la mer est pris comme origine des altitudes jusqu'à ce que la référence du lever de 100 mètres soit prise en compte.

Design

Dans cette perspective, nous tenterons de reconstruire le paysage de la Barcelone vers 1825 avec divers modèles 3D en utilisant des moyens numériques actuels.

En raison de l'absence de sources d'information détaillées et l'impossibilité de valider le modèle, nous avons façonné le « design » comme un travail d'analyse du langage cartographique des planchettes pour préciser l'information disponible et aboutir à la définition du catalogue d'objets et à quelques recommandations méthodologiques.

L'observation de l'altimétrie fournit l'information directe sur la hauteur du terrain, comme les courbes de niveau et les cotes, et sur la hauteur des constructions, nombreuses cotes sur les fortifications et les bâtiments militaires outre des indications sur le nombre d'étages de quelques bâtiments civils. De plus l'information indirecte devra être interpolée à partir du contexte comme les lignes de rupture pour décrire les changements de pente, ou les lignes de rupture qui coïncident avec des éléments planimétriques et les cotes de densification.

Plusieurs brigades ont travaillé sur la planimétrie en utilisant les mêmes codes de représentation (couleur, tracé des lignes ou surfaces tramées). Cependant des différences existent dans les dessins, les toponymes et les annotations. Cette diversité ne se reflète pas dans le modèle car seuls la symbolisation et les textes en tant que source d'information sont nécessaires pour l'interprétation et la classification de la planimétrie. Détail curieux, certaines planchettes ont été mises à jour avec des éléments représentés en jaune.

Catalogue

L'ensemble des objets qui constituent la base de données spatiales a été organisé par thèmes et par couches.

Relief

Éléments qui décrivent la hauteur, les courbes de niveau, les cotes, la forme du terrain (murets, talus, escarpements), les lignes de forme et la ligne du périmètre pour la réalisation du modèle 3D. On peut voir quelques exemples en figure 2.

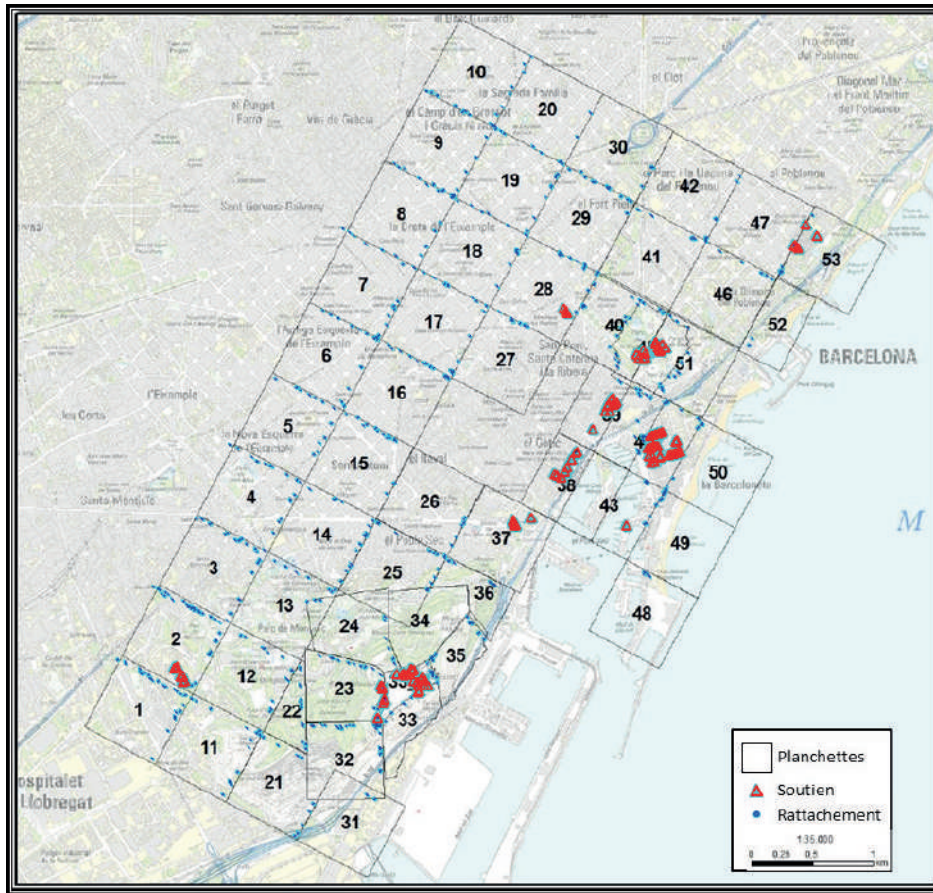


Figure 1 : Distribution des points de rattachement et de soutien, ICGC 2016

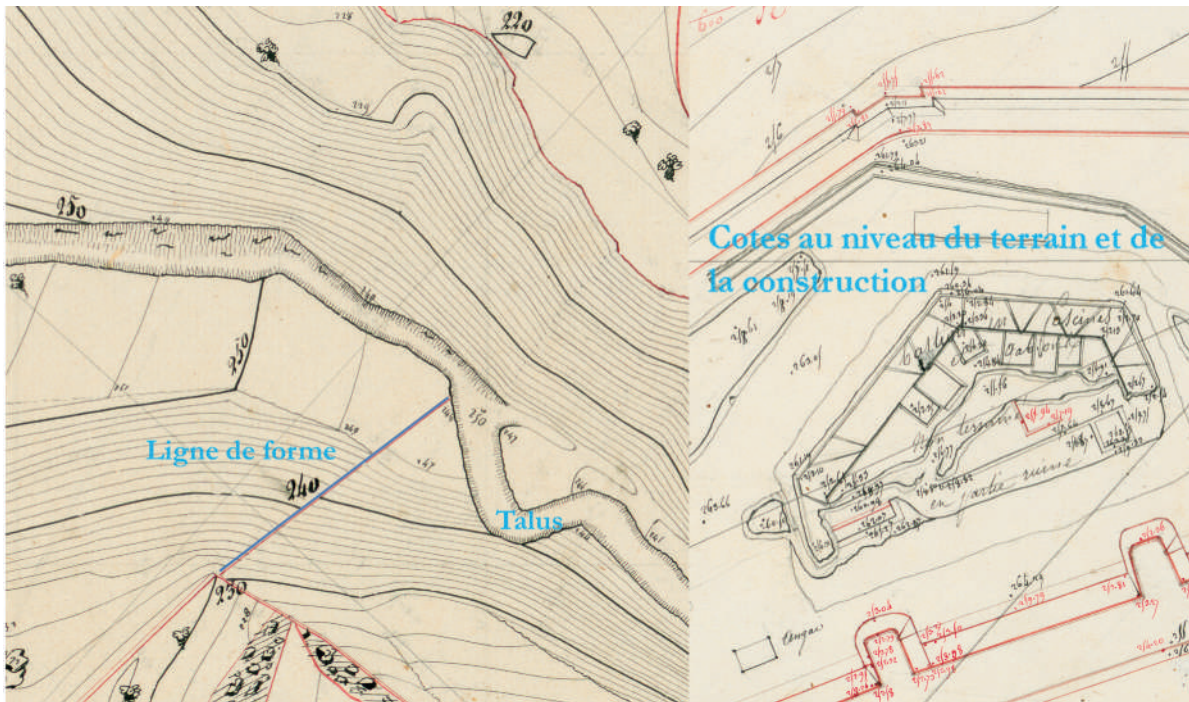


Figure 2 : Détail des planchettes 12 et 16 avec des objets du thème relief, SHD - ICGC 2016

Altimétrie

Les attributs ou traits principaux des objets de cette couche (tableau 1) nous indiquent les hauteurs lues sur les cartes (courbes de niveau et cotes), la couleur du dessin (noir ou rouge) et si l'élément est complètement dessiné sur le document ou non.

Objet	Description
Courbe de niveau	Caractérisée par la hauteur lue, l'altitude réelle calculée automatiquement (appliquant la transformation du système de référence vertical) et l'indication de si la courbe est de densification ou non.
Cote	Caractérisée par la hauteur lue, l'altitude réelle, la couleur, le type dérivé de la couleur (noir sur le terrain ou rouge sur une surface construite) et du contexte (au niveau du terrain ou en haut), et l'indication de si la cote est de densification ou non.
Ligne de forme	La hauteur de l'objet est définie aux points d'intersection avec les courbes de niveau. C'est une aide pour mieux modeler le terrain dans les zones d'escarpements, les talus ou les torrents.
Ligne du périmètre	Délimitation du modèle du terrain de la zone du lever nivelé et la hauteur définie aux points d'intersection avec les courbes de niveau.

Tableau 1 : Altimétrie

Morphologie

Représentation de la forme du terrain par des zones de pente où les courbes de niveau ne sont pas dessinées mais remplacées par des trames ou des hachures. Un des attributs indique si l'élément est complètement dessiné sur la carte ou non. Les objets de cette couche figurent sur le tableau n°2.

Objet	Description
Muret	La hauteur de l'objet au niveau du terrain est définie par le contexte, il y a une cote de chaque côté de l'objet avec des différences d'altitude supérieures à un demi-mètre.
Talus	Il s'identifie par des hachures et quelquefois par l'annotation « talus ». La hauteur est définie aux points d'intersection avec les courbes de niveau et, à partir du dessin des cotes et des courbes de niveau, on peut le classer comme talus de déblai ou de remblai. Les talus naturels sont en noir, les talus façonnés en rouge.
Escarpement	Il s'identifie par une trame et quelquefois par l'annotation « escarpement ». Souvent seul le haut de l'escarpement est bien délimité.

Tableau 2 : Morphologie

Occupation des sols

Ce thème inclut des éléments relatifs à la couverture du sol qu'on peut reconnaître avec la symbolisation comme buisson, rocaille etc., ou par annotations comme sable, vignes, etc. La hauteur des objets est celle du terrain.

Les éléments identifiés par des textes ne sont pas toujours bien définis, il faut avoir un attribut indicatif de ce fait et établir des critères spécifiques de groupement et des délimitations d'objets.

Végétation

La couche (tableau 3) englobe les parties cultivées classifiées par type de culture et d'autres éléments végétaux par leur fonction comme point de repère.

Objet	Description
Haie	Représentée par une ligne symbolisée à côté de voies ou de constructions, elle peut indiquer la limite entre des parties cultivées ou encore le changement de pente ou de la forme du terrain.
Alignement d'arbres	Symbolisé par des petits cercles noirs alignés le long des routes. Si chaque cercle est considéré comme un arbre, il faut préserver l'alignement et le distinguer des arbres isolés.
Arbre	Représenté par divers symboles ponctuels. Selon leur densité ils peuvent être interprétés comme une sélection des arbres d'une plantation ou autour d'une parcelle.
Entourage d'arbre	Dessiné comme le périmètre en rouge d'un alignement d'arbres ou demi-cercles autour de chaque arbre.
Buisson	Polygone tramé avec le même symbole que la haie.
Partie de culture	Objet polygonal pas toujours explicite, caractérisé par le type de culture selon le texte figurant dans la minute. Les planchettes apportent les précisions suivantes : caroubiers, champs, figuiers, oliviers, vignes, jardin, jardins potagers, partie cultivée, terrain inculte.

Tableau 3 : Végétation

Couverture

La couche (tableau 4) est formée par des objets polygonaux classifiés par leur usage ou leur contenu.

Objet	Description
Élément de couverture	Polygone pas toujours explicite caractérisé par le type de couverture. Selon le texte annoté dans la minute ou la symbolisation. Les différents types de couverture selon le texte figurant dans la minute sont : carrière, dune, marais, plages et sables ; selon la symbolisation on peut caractériser : rocaille (symboles divers quelquefois dispersés et d'autres à l'intérieur de zones bien délimitées), marais, dépôt des déblais (rectangle près d'une maison de campagne ou briqueterie avec une cote à l'intérieur qui montre une profondeur d'environ deux mètres).
Enceinte	Polygone associé à un texte qui identifie le type (aire, chantier, cimetière).

Tableau 4 : Couverture

Hydrographie

Ce thème comprend le réseau hydrographique (tableau 5) avec les masses d'eau, les cours naturels et artificiels, les ouvrages hydrauliques avec les constructions pour la rétention de l'eau (tableau 6). Dans la figure 3 on montre quelques exemples.

Réseau hydrographique

On prend la représentation des objets de la couche comme des « lignes de forme » pour une meilleure définition du modèle du terrain. On ajoute ensuite l'axe des masses d'eau avec une ligne orientée vers la direction du cours, pour former un réseau hydrographique connexe qui est complété sous les ponts, dans les tunnels ou en zones urbaines.

Objet	Description
Côte	On déduit la côte comme la ligne noire, rouge ou bleue en contact avec la mer ou comme une ligne interpolée entre les courbes de niveau 276 et 277, car il n'y a aucune ligne de littoral explicite (voir fig. 3).
Torrent (cours d'eau)	Dessiné par une ligne noire avec certain style identifié quelquefois par le mot générique « torrent ». Dans les ruissellements représentés par les rives on ajoute l'axe comme un torrent. On ajoute aussi l'axe, comme un torrent, entre les bords d'objets <i>linéaires</i> s'il y a un toponyme avec le mot « torrent », « riera » ou « Tt. ». Un des attributs correspond au toponyme de l'objet.
Canal	Représenté par une zone bleue avec des flèches noires qui marquent la direction de l'eau. Dans le modèle l'objet est composé de l'axe, ligne, et la masse d'eau, polygone. Ils sont caractérisés par la couleur des lignes qui délimitent l'eau (rouge ou noire), il peut s'agir de différencier les canaux creusés de ceux construits artificiellement.
Séguia	Petit canal ou rigole d'irrigation, représenté par une ligne ou une zone bleue entre deux lignes noires.
Oued	Surface définie par les bords des ruissellements et des torrents.
Mer	Polygone délimité par la côte et la « ligne du périmètre ».

Tableau 5 : Réseau hydrographique

Ouvrages hydrauliques

On peut reconnaître les constructions hydrauliques par le contexte, l'utilisation de la couleur bleue et les annotations, mais il y a une absence générale de cotes sur ces objets, ce qui oblige à identifier les points des constructions placés sur le terrain et à établir une méthode pour assigner la hauteur des points élevés.

Objet	Description
Aqueduc	Canal élevé identifié par le mot « aqueduc », non connecté avec le réseau des canaux.
Brise-lames	Zone délimitée par une ligne près de la mer ou du quai, avec le symbole de rocaille. Ils sont caractérisés par la couleur rouge ou noire, permettant de distinguer les naturels des artificiels.
Écluse	Petite ligne à côté du mur d'un canal qui marque la jonction avec une rigole. De couleur rouge et noire, pour distinguer le matériau, bois (noir) ou autre (rouge).
Enceinte d'eau	Représentée par un polygone bleu ou associé à un texte qui l'identifie comme étant une construction hydraulique. Ont été identifiés les types suivants : - bassin - rectangle avec une double ligne rouge pour le contour. - puits - symbolisations diverses quelquefois avec le texte « puits ». noria - bassin d'une noria, enceinte d'eau associée à la « noria ». - réservoir - symbolisé comme une construction qu'on peut reconnaître par le mot « réservoir ». - citerne - identifiée dans la légende de la planchette 33 (bis) « Plan du Fort Montjuich ». Certaines sont entourées d'un cercle rouge discontinu près d'un magasin à poudre, il s'agit probablement d'une citerne ou d'un bassin souterrain pour étouffer un feu.
Fontaine	Souvent signalée par un mot générique, un toponyme, quelquefois un symbole.
Noria	On trouve des symbolisations diverses, quelques-unes détaillées et d'autres schématiques, identifiées comme des représentations du même objet, parfois avec l'annotation « noria ».

Objet	Description
Quai	Zone délimitée par une ligne rouge près de la mer ou d'un brise-lames.
Regard	Petit carré proche du mot « regard », c'est une ouverture pour permettre la visite d'une conduite, d'un aqueduc, fermée ordinairement par une plaque.

Tableau 6 : Ouvrages hydrauliques

Voirie

Ce thème (tableau 7) comprend les voies de circulation, les ponts et les tunnels. L'identification des objets est basée sur la symbolisation d'après les textes génériques et les toponymes.

On prend la représentation des voies comme des « lignes de forme » pour une meilleure définition du modèle du terrain. On y ajoute ensuite l'axe avec une ligne pour construire le réseau routier connexe, complété sous les ponts ou en tunnel. La hauteur des voies est au niveau du terrain à l'exception des parties souterraines ou de celles qui sont sur un pont.

Objet	Description
Voie	Représentée par une ligne ou par une surface entre deux lignes parallèles. On a considéré les types suivants : - sentier - une ligne noire discontinue, quelquefois près du mot « sentier ». - chemin - deux lignes parallèles continues, quelquefois identifié par un toponyme avec le mot « chemin » ou « route ». Chaque ligne est interprétée comme le bord du chemin. Si une partie ou une des lignes est rouge elle peut être interprétée aussi comme un mur. - voie urbaine - voie avec chaussée séparée ou zone située entre les bâtiments ; dans les deux cas elle s'identifie par le toponyme. On ajoute l'axe aux chemins entre les bords, sur les ponts et dans les tunnels.
Pont	Dessiné avec le tablier du pont marqué par les diagonales. Il y en a dans les croisements entre routes et canaux. Il n'y a pas de cotes sur le pont, il faut estimer la hauteur par le contexte.
Tunnel	Représenté par deux lignes rouges discontinues parallèles interprétées comme une voie ou un canal souterrain.

Tableau 7 : Voirie

Constructions et peuplement

Ce thème comprend les constructions et les bâtiments militaires et civils, caractérisés par leurs symbolisations et leurs textes associés selon l'état (en construction, en usage ou en ruines) et selon les matériaux (bois, pisé, maçonnerie, terre ou mixte).

Bâtiments, constructions et fortifications sont capturés comme des polygones inclinés, serrés à la partie supérieure de la construction. Dans les tableaux suivants figurent les différents types d'objets considérés avec une description : bâtiment (tableau 8), fortification (tableau 9) et construction (tableau 10).

Bâtiment

Les bâtiments sont décomposés en blocs pour les modéliser en LOD2, et les types de bloc correspondent avec les différentes structures de toit ou surface qu'on peut reconnaître par la symbolisation ainsi que la situation du bâtiment par rapport au terrain : sur le terrain, partiellement souterrain, souterrain, base en haut, partiellement en haut, sur une construction.

En plus, les annotations associées donnent l'information sur l'usage ou la fonction du bâtiment : particulier, agricole, administratif, industriel (teinturerie, briquetterie, fonderie), militaire, religieux, commercial, sanitaire et non classifié. Malheureusement le niveau de détail change selon la brigade topographique au travail. Dans la figure. 4 quelques bâtiments sont identifiés par le numéro 1 avec les textes descriptifs « Magasin appartenant à un particulier », « Maisons de particuliers », « Octroi ».

Pour déterminer la hauteur on utilise les cotes servant de repère sur la construction, s'il n'y en a pas on peut prendre une hauteur standard par étage et utiliser les annotations sur le nombre d'étages ou chercher la hauteur à partir d'autres sources.

Type	Description
- générique	Polygone isolé qu'on identifie comme un bâtiment, groupe de bâtiments ou ensemble de parties qui donnent forme à un bâtiment comme une ferme, une maison de campagne. L'intérieur peut être tramé, peint ou non selon son utilisation. Certains par exemple en noir avec la mention « maison en bois ». La plupart des bâtiments isolés sont signalés comme suit : « maison de campagne », « ferme », « magasin », etc. Il est nécessaire d'ajouter un attribut pour recueillir les textes (annotation, toponyme). En plus, les lignes discontinues à l'intérieur d'un bâtiment, sans trame, sont interprétées comme l'entrée d'une cour ou d'un porche sous les étages. Ces polygones sont classifiés comme bâtiments génériques avec la base en haut, on peut passer par-dessous.
- porche	Rectangle de périmètre rouge avec des diagonales, adossé ou à l'intérieur d'un bâtiment et sans texte.
- pâté de maisons	Ligne rouge avec une trame identifiée comme la façade d'un bâtiment qui définit la voie urbaine.
- hangar, magasin	Rectangle de lignes rouges avec des diagonales, isolé ou adossé à un bâtiment mais avec un texte indicatif « magasin », « atelier ». Si les diagonales sont discontinues on considère qu'au moins la base du magasin est souterraine.
- tour de guet	Partie d'un cercle situé au coin d'un bâtiment.
- silo	Cercle rouge avec le mot « silos ».
- phare	Bâtiment avec le texte « phare ».
- belvédère	Bâtiment avec le texte « belvédère ».

Tableau 8 : Bâtiment

Fortification

Les fortifications, comme les bâtiments, sont décomposées en blocs pour les modéliser en LOD2. Les types de bloc des constructions militaires à identifier pendant la capture ont été réduits au minimum, mais suffisants pour obtenir les modèles 3D. La figure 4 avec le « Bastion de la Porte Neuve » illustre le niveau de détail des fortifications. Le numéro 2 indique des passages couverts pour entrer dans la cité.

Type	Description
- passage couvert	Ligne rouge discontinue identifiée comme la façade ou mur d'un passage couvert par une construction ou bâtiment.
- pont-levis	Représenté par les diagonales du tablier et le périmètre avec une cote sur le tablier.
- pont d'accès	Pont en pierre pour franchir le fossé et accéder au pont-levis.
- batterie	Souvent identifiée par le mot « batterie » ; il est possible de trouver diverses symbolisations.
- construction	Utilisation commune pour les parties construites de la fortification formant une clôture ou une barrière.
- espace	Utilisation commune pour les parties de la fortification sans constructions avec fonctions défensives ou d'usage militaire.

Tableau 9 : Fortification

Il est possible d'identifier par la suite les différentes structures défensives comme des ensembles d'objets.

Construction

Les ouvrages considérés comme des types de construction ne sont pas compris dans les autres couches, en général isolés et placés au niveau du terrain. Dans la figure 4 quelques constructions identifiées par le numéro 3 avec le texte descriptif « cheminée ».

Type	Description
- mur	Représenté par les deux côtés, une double ligne rouge avec l'intérieur tramé comme les bâtiments, mais qui ne peuvent pas en être parce que la longueur du mur n'est pas supérieure à 1,5 m. Lignes rouges de portions droites qui délimitent des parties de culture ; on les trouve en zones montagneuses ou à côté des chemins. Quelquefois il y a des cotes sur la construction.
- escalier	On peut les identifier clairement mais il n'y a pas toujours l'information de la dénivellation.
- colonne, élément de soutien	Petits carrés rouges quelquefois adossés à un ouvrage, pilier d'un garde-corps, et également isolés.
- monument	Dessin comme un symbole associé à un toponyme qui évoque une personne ou un événement.
- cheminée	Petit rectangle rouge avec l'intérieur noir avec le texte « cheminée ».
- non classifié	Éléments non encore identifiés.

Tableau 10 : Construction

Toponymie et annotations

La plupart des textes, utilisés par la classification des objets ou leurs toponymes, sont collectés comme des attributs de ces objets. Par ailleurs certains textes ne correspondent à aucun objet du catalogue mais doivent être inventoriés dans des buts d'analyse ou d'étude qui vont au-delà du modèle 3D. Le catalogue inclut donc l'objet « texte cartographique » pour les enregistrer en indiquant le type, le texte littéral, la couleur et l'orientation du texte.

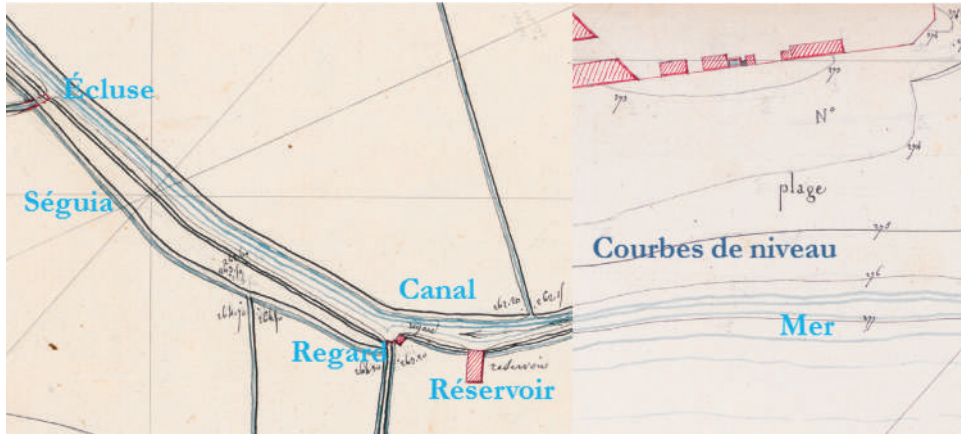


Figure 3 : Détail des planchettes 29 et 50 avec des objets du thème hydrographie, SHD - ICGC 2016

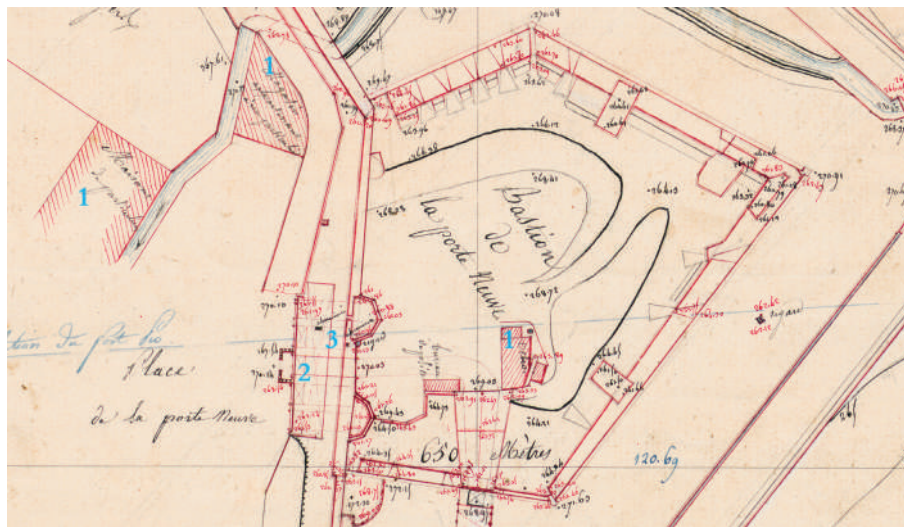


Figure 4 : Détail de la planchette 28 avec des objets du thème constructions et peuplement, SHD - ICGC 2016

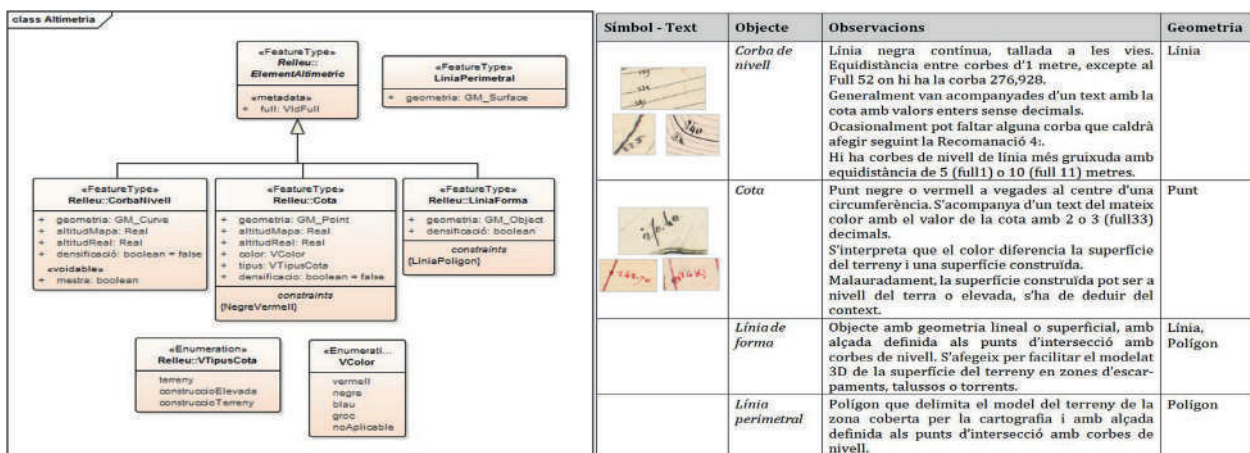


Figure 5 : Diagramme de classes UML et les descriptions des objets de la couche altimétrie, ICGC 2016

1 UML vient de l'anglais *Unified Modeling Language*, c'est-à-dire, langage de modélisation unifié.

Type	Description
- toponyme	Nom d'un lieu caractérisé en plus par le thème et le toponyme en catalan.
- générique	Texte qu'on utilise pour caractériser les objets.
- annotation	Phrase ou expression pour détailler certaines caractéristiques des objets.
- description	Autres textes.

Tableau 11 : Toponymie et annotations

La phase du « design » se termine par l'élaboration d'un document contenant le catalogue des objets avec l'information figurant sur les tableaux précédents complétée par des exemples graphiques, les textes associés et les modèles conceptuels par couche ou thème en langage formel UML¹ (fig. 5).

Recommandations

Après la définition du catalogue d'objets, il est nécessaire d'établir et tester la méthode de saisie pour construire les modèles 3D.

De l'étude des documents ressortent les points suivants :

- Obtenir l'altitude des sommets des objets sur le terrain du modèle numérique du terrain.
- Fixer les critères pour déterminer l'altitude des sommets des objets sur le bâti en fonction de la hauteur actuelle s'ils sont conservés, par la connaissance des constructions de l'époque ou à partir d'une valeur par défaut.
- Caractériser les représentations des objets déduites du contexte.
- Utiliser l'information sur la structure des norias ou la centrale de distribution d'eau pour une meilleure interprétation des ouvrages hydrauliques.
- Décider la spécificité des éléments mis à jour.
- Accorder la meilleure interprétation de la couleur noire en fortification parce qu'elle peut signifier le type de matériau (bois) ou des différences de hauteur (niveau de terre).

Saisie

Dans cette étape on va fixer la méthode de travail, implémenter le modèle physique de la base de données spatiales à partir du modèle conceptuel, adapter l'environnement productif et vectoriser l'information, ce qui veut dire transformer les données des minutes numérisées en format raster en information vectorielle 3D.

La procédure adoptée pour alimenter la base de données commence par la capture de l'altimétrie du terrain, l'information directe et indirecte mettant en pratique les règles d'assignation d'altitudes du thème relief, elle continue par la capture des objets sur le terrain, dont l'altitude est dérivée de l'altimétrie du terrain, et finalement on capture les fortifications, constructions et bâtiments en appliquant les critères d'assignation des hauteurs établis.

Environnement de production

La conception de l'application pour adapter le système commercial aux particularités du projet a tenu compte des recommandations précédentes et aussi du fait que malgré l'utilisation des appareils de production des bases topographiques 3D, la capture ne peut pas être en vision stéréoscopique mais qu'il faut prendre en compte les aspects de la numérisation 3D et de la validation avec une visualisation 3D.

Le logiciel de base est Oracle, comme gestionnaire de la base de données, et Geomedia, progiciel SIG² avec fonctions intégrées pour numériser et faire des analyses dans un environnement 2D ou 3D, bien que ces fonctions ne soient pas assez optimisées pour la capture de données 3D requise pour ce projet.

On utilise Geomedia Object Library pour conformer l'entourage de travail, *ICGCBCN1827 application*, conçu pour les opérateurs avec l'adaptation d'outils existants ou le développement d'outils spécifiques pour le projet.

Ci-dessous sont détaillées et illustrées les fonctions les plus remarquables de l'application :

² Système d'information géographique

- *Load image* (fig. 6) : outil de téléchargement des images des planchettes géoréférencées pour améliorer la gestion des fichiers avec un fonctionnement spécialement conçu pour la vectorisation de ce projet.
- *Rotate MapView* (fig. 7) : une partie importante de la procédure de capture de l'information consiste à noter les hauteurs, toponymes et annotations ; à la difficulté d'interpréter l'écriture on ajoute l'orientation des textes. Cet outil permet à l'opérateur de tourner la vue à volonté.
- *BCN1827 Default Height* : outil pour générer automatiquement la hauteur des courbes de niveau, à partir d'une d'entre elles et leur intervalle, et de les conformer au système de référence.
- Outils *Snap 3D* ou *Snap 2D* pour s'assurer que les points qui doivent coïncider ont les mêmes coordonnées planimétriques et la même altitude.
- *ICGC Wind3D* (fig. 8) : outil qui ajoute plusieurs points de vue des données vectorisées permettant ainsi aux opérateurs de faire un contrôle visuel de leur travail en 3D.

Test pilote

En dernier lieu la validation de la méthodologie proposée ainsi que le logiciel *ICGCBCN1827 application* avec la vectorisation des objets du relief, des bâtiments et des fortifications de deux feuilles, d'environ 85 hectares, la création des modèles numériques du terrain (MNT) et de surface (MNS) (fig. 9) et des bâtiments et fortifications (fig. 10).

On a conçu aussi le site web <http://www.betaserver.icgc.cat/bcn1827/> pour la diffusion des résultats. On y trouve l'information relative au projet, la carte géoréférencée et les bâtiments 3D.

Conclusions

Finalement, on peut synthétiser quelques conclusions qui se dégagent de ces travaux :

- Les résultats obtenus permettent de s'assurer que le géoréférencement est possible et comparable à une carte à l'échelle de 1:5.000, ou plus grande, si on peut améliorer la transformation de coordonnées, soit avec les données du mémoire des travaux, soit par l'augmentation des points de soutien avec une bonne distribution.
- Après la définition du modèle de données, on peut créer la structure d'une base de données spatiale 3D pour sauvegarder l'information capturée avec toutes les couches et exporter les données en formats vectoriel et raster compatibles avec les progiciels SIG plus communs.
- Est conseillé le développement d'outils spécifiques pour la vectorisation de données 3D puisque l'origine de l'information n'est pas explicitement 3D et les outils des progiciels SIG existants ne sont pas préparés pour une capture optimisée des données.
- Un modèle 3D du *Lever-nivelé de la place de Barcelone, 1823-1827* est réalisable, et plus encore, la méthodologie et les outils sont applicables à d'autres cartes.

En diffusant les résultats du test pilote et en les partageant avec différents profils professionnels comme les géologues, géographes, archéologues, historiens... on se rend compte qu'il y a un éventail d'exploitations en sciences de la terre et en sciences humaines et sociales, par exemple la comparaison du relief actuel avec les caractéristiques géométriques des carrières, du réseau hydrographique, des constructions comme murets, chemins, bâtiments ou fortifications.

En outre on peut générer différentes vues du contenu de la base de données avec les modèles 3D issus du projet selon les requis préalables des applications, fournir les données sous divers formats raster et vectoriel, ou utiliser les canaux de distribution les plus appropriés comme les services en réseau de données géographiques ou applications spécifiques pour visualiser et analyser l'information par internet sur ordinateur, téléphone portable, etc.

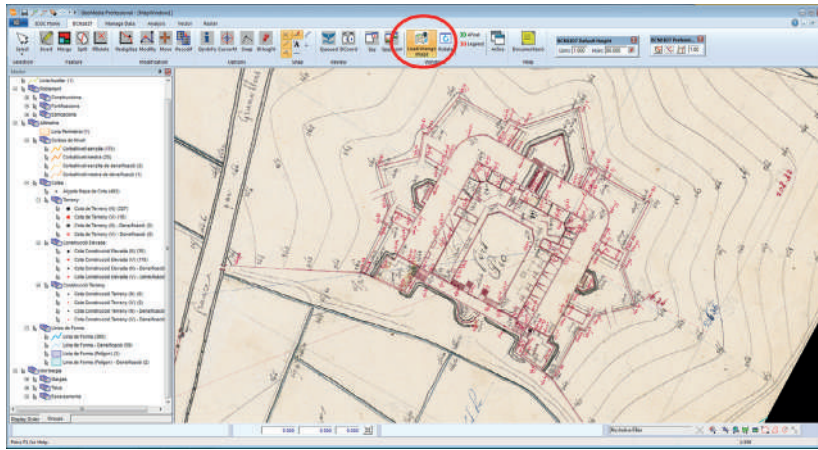


Figure 6 : Planchette 29 prête pour la capture, SHD - ICGC 2016

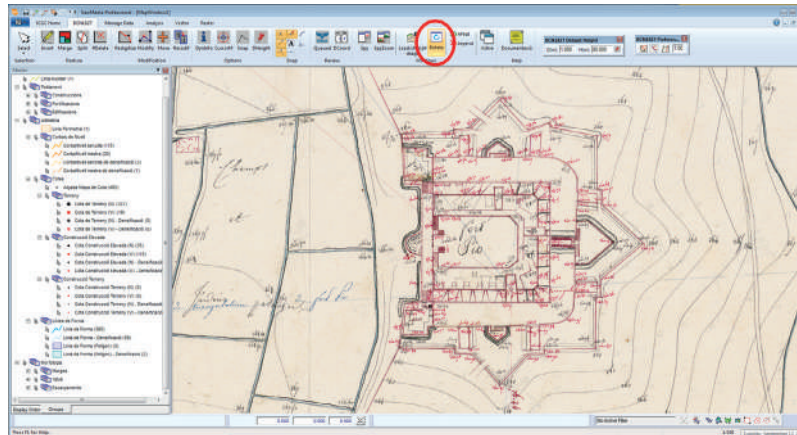


Figure 7 : Planchette 29 orientée pour lire les textes, SHD - ICGC 2016

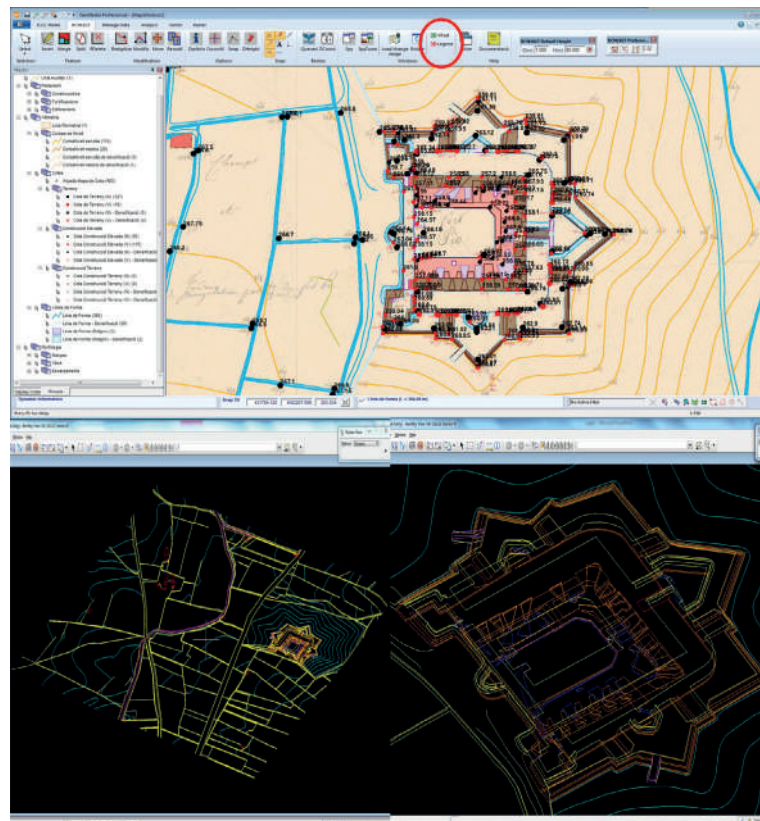


Figure 8 : Détail de la capture de la planchette 29 et deux vues 3D du travail, SHD - ICGC 2017

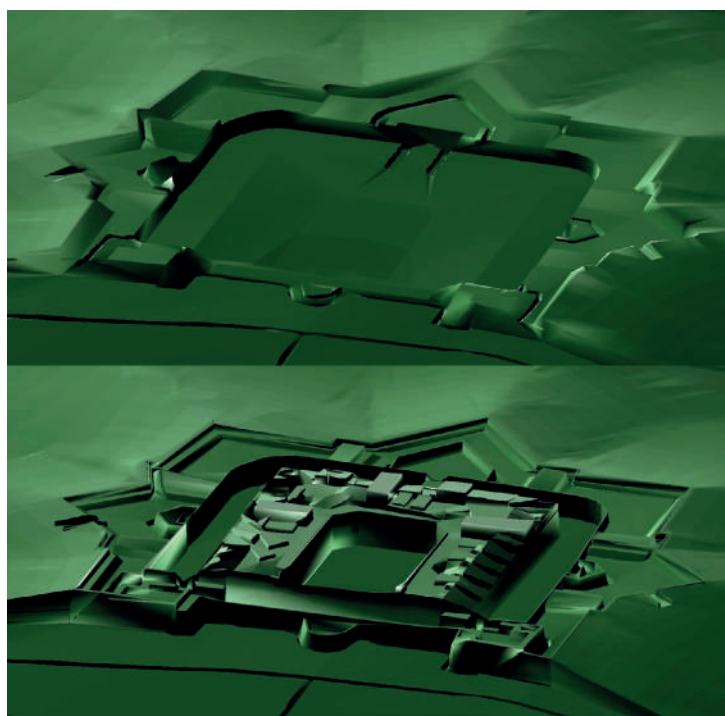


Figure 9 : MNT et MNS de la planchette 29, ICGC 2017

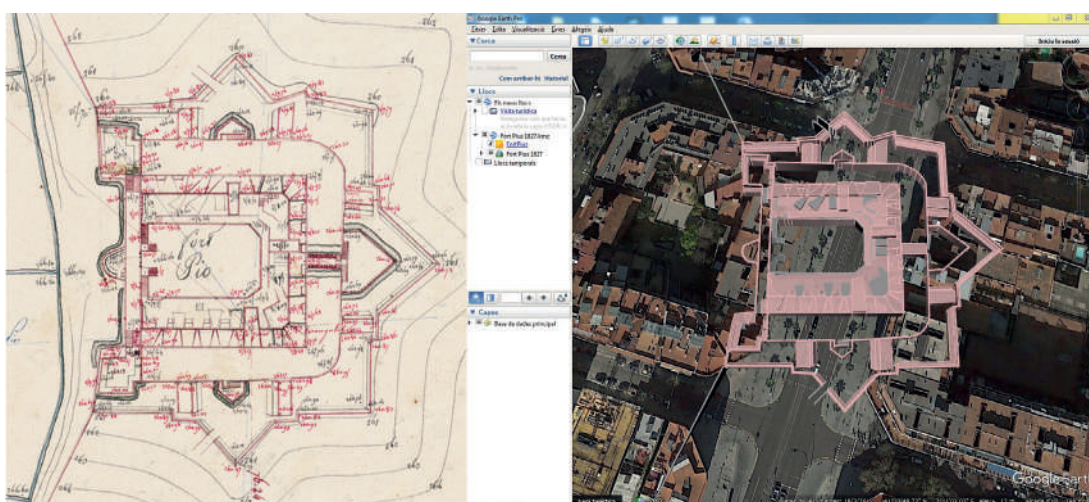


Figure 10 : Fort Pius à la planchette 29 et le modèle LOD2 vue en GoogleEarth, SHD - ICGC 2017

Bibliographie

Open Geospatial Consortium, 2012, "OGC City Geographic Markup Language (CityGML) Encoding Standard", <http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0>, consulté le 09/2017.