



Citation: Mazagol, P.-O., Benoit, F., Casset, C. A., Radondy, N. & Depeyre, M. (2024). Cartographie et mémoire(s) des conflits : la Seconde Guerre mondiale à Saint-Étienne. *Bollettino della Società Geografica Italiana* serie 14, 7(2): 91-103. doi: 10.36253/bsgi-1737

© 2024 Author(s). This is an open access, peer-reviewed article published by Firenze University Press (<https://www.fupress.com>) and distributed, except where otherwise noted, under the terms of the CC BY 4.0 License for content and CC0 1.0 Universal for metadata.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Cartographie et mémoire(s) des conflits : la Seconde Guerre mondiale à Saint-Étienne

Mapping and Conflict Memory(ies): The Second World War in Saint-Étienne

PIERRE-OLIVIER MAZAGOL^{1,*}, FLAVIE BENOIT², CHEICK AMADOU CASSET², NATHAN RADONDY¹, MICHEL DEPEYRE¹

¹ Laboratoire Environnement Ville Société, UMR 5600, CNRS, Université Jean Monnet – Saint-Étienne, Saint-Étienne, France

² Master Geonum, Université Jean Monnet – Saint-Étienne, Saint-Étienne, France

*Corresponding author. E-mail: pierre.olivier.mazagol@univ-st-etienne.fr

Abstract. While war has reappeared at Europe's door, we hear again about a possible worldwide conflict. More than ever, it is necessary to find new, more modern ways to document past conflicts to educate current and especially future generations. Indeed, this is necessary to maintain in memories, acts, events and consequences for local populations. Taking the city of Saint-Étienne during the Second World War as an example, we will show how 3D GIS makes possible to archive and promote this memory to a wide audience using of maps, 3D models, videos... We present several results, thoughts and some tests to link them with specialized tools and virtual reality.

Keywords: 3D geovisualization, Geographic Information System, cultural heritage, dam reservoirs, Virtual Reality, war, memory.

Résumé. Alors que la guerre a refait son apparition aux portes de l'Europe, on reparle non sans frémir d'un possible conflit mondial. Il convient plus que jamais de trouver de nouveaux moyens, plus modernes pour documenter les conflits passés afin d'éduquer les générations actuelles et surtout futures. Il est en effet nécessaire de maintenir, dans les mémoires, les actes, les événements et leurs conséquences sur les populations locales. Prenant la ville de Saint-Étienne pendant la Seconde Guerre mondiale comme exemple, nous montrerons comment les SIG 3D permettent d'archiver et de valoriser cette mémoire auprès d'un large public sous la forme de cartes, de maquettes 3D, de vidéos... Nous présentons nos résultats ainsi que les premiers tests que nous avons menés pour les coupler avec les outils spécialisés et la réalité virtuelle.

Mots-clés: Géovisualisation 3D, Systèmes d'Information Géographique, Héritages culturels, Réalité virtuelle, guerre, mémoire.

Riassunto. Con la guerra che si profila ancora una volta alle porte dell'Europa, i discorsi su un possibile conflitto globale non sono privi di trepidazione. Oggi più che mai è necessario trovare nuovi e più moderni modi di documentare i conflitti del passato per educare le generazioni attuali e, soprattutto, quelle future. È essenziale ricorda-

re gli eventi bellici e le loro conseguenze sulle popolazioni locali. Prendendo come esempio la città di Saint-Étienne durante la Seconda guerra mondiale, il contributo affronta il modo in cui i GIS 3D possano essere utilizzati per archiviare e valorizzare questa memoria per un vasto pubblico sotto forma di cartografie interattive, modelli 3D, video, presentando i primi risultati e le simulazioni effettuate per accoppiarli con strumenti specializzati e realtà virtuale.

Parole chiave: geovisualizzazione 3D, sistemi informativi geografici, patrimonio culturale, realtà virtuale, guerra, memoria.

1. Introduction

La Seconde Guerre mondiale est devenue un point de repère historique par rapport auquel nos contemporains se positionnent de plus en plus. Outre l'actualité immédiate qui fait ressortir d'inquiétantes similitudes, les jeunes générations aspirent de plus en plus à retrouver les traces matérielles ou mémorielles qui marquent leur territoire.

En effet, ce conflit a été le cadre d'événements qui eux-mêmes présentent une grande diversité, souvent interconnectés. Citons à titre d'exemples, dans un bien triste pêle-mêle, batailles, occupations, résistances, collaborations, bombardements, exactions, enlèvements, assassinats, attentats, sabotages, génocides, épurations ethniques, déplacement de populations, destructions d'infrastructures ou de monument patrimoniaux... La ville de Saint-Étienne n'offre heureusement pas d'exemple de toutes ces exactions. Néanmoins son territoire a été marqué par des épisodes dramatiques, tel le bombardement américain du 26 mai 1944.

Se pose alors la question de la restitution de ces événements auprès de publics en ce début de XIXe siècle. Les outils numériques, et notamment les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), nous offrent aujourd'hui des possibilités de cartographier et de reconstituer des événements, des processus, voire des sites disparus. Les archéologues, par exemple, ont commencé à utiliser les SIG et la télédétection dès les années 90 (Rodier et al. 2011) pour cartographier les sites et les analyser, et le LIDAR est dorénavant une technologie centrale pour la détection et la reconstitution des structures archéologiques (Schindling, Gibbes 2014). Les historiens et les géographes ont également investi ce champ pour étudier notamment la Seconde Guerre mondiale à différentes échelles (Juhász 2014; Polończyk et al. 2023; Whitworth, Ayers 2022). Et la portée pédagogique de ces outils n'est pas à écarter dans ces recherches (Gebelein 2009).

Ce travail est nécessaire pour maintenir, dans les mémoires, les actes, les événements et leurs conséquences sur les populations locales. Et il doit également servir à éduquer les générations actuelles et surtout futures.

Ce constat est complexifié par le fait que dans le cadre d'un même conflit, ces événements se déclinent localement. Et il est donc possible de parler d'une mémoire des conflits, de mémoires des conflits comme de mémoires d'un conflit !

De ce point de vue, les systèmes d'information géographique (SIG), les cartes et, plus généralement, les outils géomatiques se positionnent comme des solutions intéressantes pour compiler, archiver, analyser, diffuser ces mémoires à partir du moment bien sûr où elles sont d'essence spatiale.

Jusqu'à il y a peu, les historiens utilisaient la carte davantage comme une illustration de leur démonstration fondée sur les sources écrites. Ce faisant, ils laissaient passer nombres de phénomènes discrets ou cachés à leur vue : repérage de densités diverses, flux, ou contrastes entre vide et plein.

Dans le cadre de cet article, nous souhaitons préciser et approfondir les avantages que les outils géomatiques et plus particulièrement les outils SIG 3D peuvent apporter à la gestion des données spatialisées de ces mémoires, depuis leur acquisition jusqu'à leur diffusion auprès des experts mais aussi du grand public. Ceci ne se limite pas d'ailleurs aux seuls conflits. Deux des auteurs ont déjà montré l'intérêt de ce type d'outils appliqués à un paysage transfiguré et à des héritages engloutis par la mise en eau d'un barrage hydroélectrique (Mazagol et al. 2021). Et il existe de nombreuses autres recherches utilisant les SIG 3D (Campanaro et al. 2016; Deguy et al. 2019; Dell'Unto et al. 2016), la modélisation et la virtualisation paysagère 3D (Belhi et al. 2023; Berti, Landi 2019; Jacquino 2014) ou plus généralement la place croissante des technologies pour la préservation et la valorisation des héritages culturels (Mendoza et al. 2023).

Et il apparaît que, pour les spécialistes des héritages culturels, ces outils et les résultats qu'ils permettent d'obtenir offrent la possibilité d'une valorisation auprès de tous les types de publics (Rasse 2017). Cette dernière peut être implantée aussi bien au sein d'institutions muséales, que dans des structures environnementales, comme les parcs naturels. Et par sa souplesse d'utilisation et sa précision, l'outil géomatique répond pleinement à la constitution du "Musée imaginaire" qu'André Malraux (1952) appelait de ses vœux dans les années 1950. En effet, le chercheur ou l'expert peut à tout moment convoquer la réalité reconstituée par l'outil numérique. La carte nous indique les sites impliqués. De plus, il est possible de documenter les bâtiments concernés avec des photogra-

phies d'époque, des archives, voire des films. Les sources habituelles de l'historien peuvent donc être requises et exploitées en fonction de la recherche.

C'est dans un souci d'interdisciplinarité que les auteurs ont souhaité appliquer leur méthodologie à un tout autre espace géographique et une toute autre thématique que ceux sur lesquels elle a été développée (*i.e.* les Gorges de la Loire et ses activités socio-industrielles en milieu rural). Ils proposent donc ici de s'intéresser à un territoire urbain, la ville de Saint-Étienne, et aux différents événements (Résistance, Occupation et Collaboration) qui y ont pris place durant la Seconde Guerre mondiale. De fait, se posent alors deux questions : Quels sont les lieux de souffrance à Saint-Étienne pendant la guerre ? Comment les présenter aux populations locales dans le contexte d'une ville dont le tissu urbain a bien évolué en plus de 80 ans (quartiers restructurés, bâtiments détruits, noms de rues modifiés...)

Nous proposons donc ici une adaptation d'une méthodologie SIG 3D déjà éprouvée (Mazagol et al. 2021). Nous présentons les premiers résultats de prolongements que nous avons alors envisagés et commencés à mettre en œuvre.

2. Matériel et méthode

2.1. Zone d'étude

La ville de Saint-Étienne est située dans le département de la Loire, dans l'actuelle région Auvergne-Rhône-Alpes, dans le centre-est de la France, à environ 60 km au sud-ouest de la ville de Lyon (Fig. 1).

La ville de Saint Étienne n'a pas été occupée durant la Première Guerre mondiale, l'arrivée des Allemands en juin 1940 est donc un fait tout nouveau (Luirard 1980). Cette première occupation, qui dure quelques semaines, n'a rien à voir avec la seconde occupation qui, elle, commence le 11 novembre 1942 après l'invasion par la Wehrmacht de la zone non-occupée. Cette seconde phase est marquée par les violences et les brutalités de l'occupant nazi : persécution des juifs, chasse aux résistants, aux réfractaires au STO en 1943... La région n'est marquée, ni par une collaboration excessive, ni par une résistance acharnée (Depeyre et al. 2018). Les deux phénomènes sont illustrés par des faits pourtant remarquables. La région stéphanoise est un complexe militaro-industriel de poids : usines d'armement (*e.g.* Manufacture d'armes de Saint-Étienne), usines sidérurgiques (*e.g.* usine Holtzer de Firminy), extraction charbonnière. C'est ainsi que la région entre dans la collaboration économique en fournissant matériels de guerre

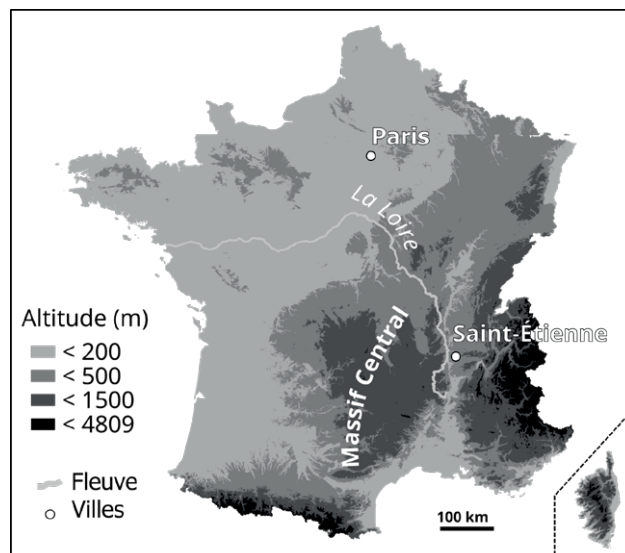


Figure 1. Localisation de la ville de Saint-Étienne. Réalisation : élaboration des auteurs.

et matières premières. L'administration allemande tient de fréquentes réunions afin d'évoquer la participation des industriels stéphanois à l'effort de guerre allemand. Quant à la résistance, elle se signale par une dimension civile (sabotages à la manufacture d'armes, grèves de mineurs en 1943) mais aussi par des efforts qui portent sur la structuration de résistances armées (organisation de l'Armée Secrète (AS)). Ce processus de structuration est cependant contrarié par l'arrestation de ses chefs, le 3 février 1943 (Depeyre et al. 2018).

La position de la ville, les industries d'armements et surtout les infrastructures ferroviaires, sont à l'origine du bombardement américain du 26 mai 1944. Ce dernier a pour objectif principal d'empêcher la Wehrmacht et les SS de remonter rapidement vers le nord de la France pour se concentrer sur l'ennemi anglo-américain (Swanson 2004). Cette opération s'inscrit dans la préparation du débarquement de Normandie. Elle provoque des destructions importantes et entraîne un millier de morts dans la population civile. En août 1944 le combat d'Estivareilles (dans les Monts du Forez, au Nord-Ouest de Saint-Étienne), mené conjointement par l'AS et le réseau Wodli empêche l'arrivée d'une colonne allemande sur Saint-Étienne. Parallèlement, les troupes allemandes stationnées à Saint-Étienne évacuent la ville. Il n'y a donc pas de combat pour la libération de Saint-Étienne, le 19 août 1944. Le Comité Départemental de Libération (CDL) prend en main les institutions et la réorganisation de la ville. Un résistant communiste, Lucien Monjauvis, est nommé préfet de la Loire le 18 novembre 1944.



Figure 2. Le quartier Tréfilerie en 1942 et en 2022. Source : Photographies aériennes IGN.

Ceci n'est qu'une rapide mise en contexte dans le cadre de cet article. Pour plus d'informations, le lecteur pourra par exemple, consulter l'ouvrage collectif dirigé par Michel Depeyre qui rassemble énormément d'informations concernant le département de la Loire et notamment la ville de Saint-Étienne pendant la période considérée (Depeyre et al. 2018).

Ainsi, pendant cette période, différents événements de natures bien diverses sont donc survenus dans une ville qui n'était pas celle que les habitants connaissent à présent. De nombreux bâtiments ont été détruits, d'autres ont été construits à la place. A titre d'exemple, on peut citer la caserne Rulière à la place de laquelle se trouve à présent la Campus Tréfilerie de l'Université Jean Monnet – Saint-Étienne (Fig. 2).

Ce simple exemple montre bien à quel point la ville a changé et met en évidence la difficulté que peuvent éprouver les nouvelles générations pour y repérer le contexte spatial dans lequel les événements s'y sont déroulés.

La démarche méthodologique que nous avons appliquée (Fig. 3) et les résultats que nous en tirons permettent de pallier en partie cette difficulté. Nous les détaillons ci-après.

2.2. Outils

Nous avons utilisé ArcGIS Pro, logiciel SIG bureau-tique propriétaire développé par la société ESRI pour

lequel nous disposons de licences *Éducation / Recherche*. Dans le contexte de notre travail, il présente deux intérêts principaux. Tout d'abord, il autorise la création de scènes 3D d'un réalisme très satisfaisant et permet d'exporter des rendus de qualité (e.g. cartes, vidéos). Mais surtout, couplé à ArcGIS Online, il est possible de partager facilement des scènes 3D et des cartes 2D sur le Web et de permettre à toutes personnes de les explorer, de les interroger via un simple navigateur web.

Cette solution présente l'inconvénient du coût lié à l'acquisition des licences et services. Cependant, les solutions open sources ne permettent pas à ce jour, de proposer des rendus tels que ceux présentés ci-après, tout du moins pas sans un fort investissement en temps de développement de solutions *ad hoc*.

D'autres logiciels ont été utilisés ponctuellement comme Blender, un logiciel libre de modélisation, d'animation et de rendu en 3D.

2.3. Collecte des données

La première étape a consisté à circonscrire la zone d'intérêt et à procéder à l'inventaire des lieux et événements que l'on souhaitait faire figurer dans la base de données géo-historiques. Cela a nécessité deux démarches. Tout d'abord, nous avons consulté les sources historiques et la littérature existante (e.g. Depeyre et al. 2018) ainsi que de nombreux experts locaux. Cela inclut

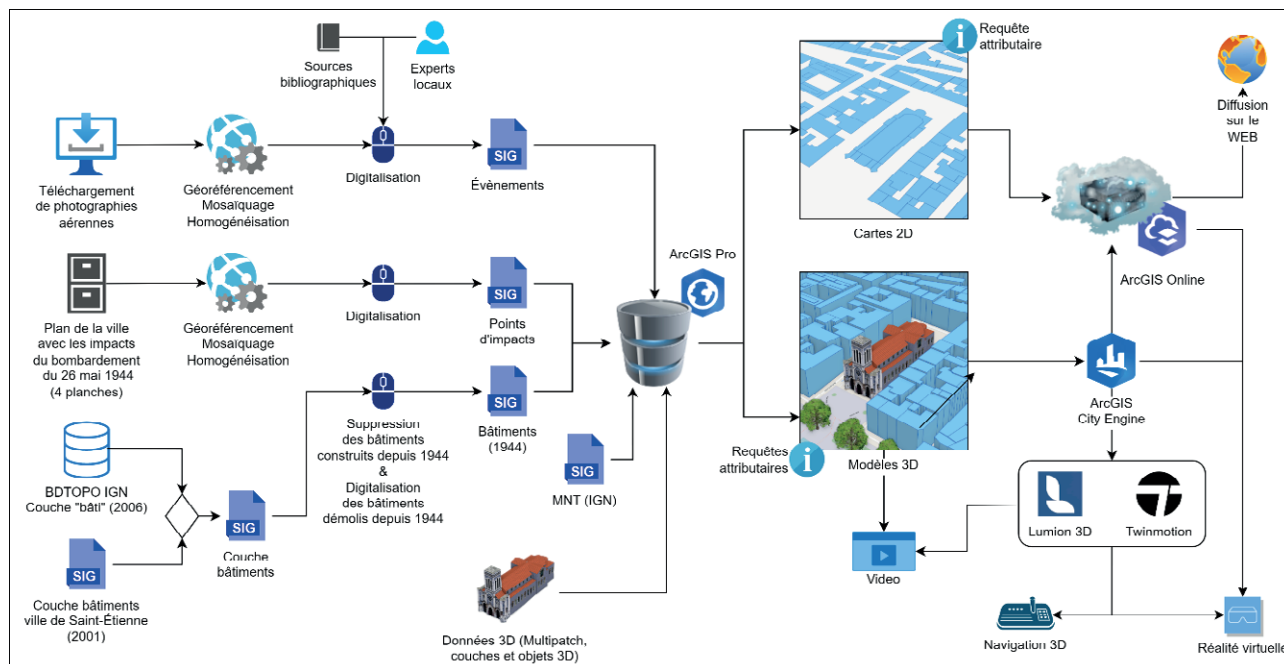


Figure 3. Synthèse de la méthodologie appliquée et des évolutions en cours de développement. Réalisation : élaboration des auteurs.

le Mémorial de la Résistance et de la Déportation de la Loire¹, les Archives municipales et métropolitaines de Saint-Étienne², les Archives départementales de la Loire³, l'Office National des Anciens Combattants et Victimes de Guerre⁴ ou encore Saint-Étienne Ville d'art et d'histoire⁵. Plus qu'un simple inventaire, cette étape nous a permis de nous assurer de la véracité des géolocalisations des événements, le nom de certaines rues, et donc les adresses, ayant pu également changer entre les deux périodes. 66 événements ont été retenus.

Nous avons ensuite recherché des données géographiques (photographies aériennes, plan...) d'époque. Pour cela, les archives municipales et métropolitaines ont mis à notre disposition un plan ancien de la ville de Saint-Étienne sur lequel étaient par ailleurs reportés les points d'impact du bombardement du 26 mai 1944. Nous avons également récupéré des photographies aériennes datant de 1942, mises à disposition par l'Institut National de l'Information Géographique et forestière (IGN) sur le site "Remonter le temps"⁶. Ce dernier fournit en effet un grand nombre de campagnes aériennes de toutes les dates sur l'ensemble du territoire français.

Nous disposons également d'un modèle numérique de terrain (MNT) à la résolution 25 m fourni par l'IGN.

Enfin, nous disposons d'une série iconographique : cartes postales et photographies dont certaines issues des fonds des archives municipales de la ville.

2.4. Acquisition et création des données

Cinq photographies aériennes ont été nécessaires afin de couvrir l'entière de la zone d'étude. Après détourage, elles sont géoréférencées en se basant sur les données actuelles et en utilisant une transformation "ajustée" ce qui permet d'obtenir une plus grande précision sur les parties centrales de l'image. Par ailleurs, ArcGIS Pro autorise un équilibrage des couleurs de la mosaïque ce qui permet d'effacer les effets de limites de chevauchement entre les différentes images (Fig. 4). La méthodologie décrite précédemment a également été appliquée à ce plan d'avant-guerre (Fig. 4) afin de l'intégrer à la base de données SIG.

2.4.1. Création des couches vectorielles

Quatre couches vecteur ont été créées. La première couche vectorielle porte des polygones correspondant à l'emprise des bâtiments constituant le tissu urbain en

¹ <http://memorial-loire42.fr/>

² <https://archives.saint-etienne.fr/>

³ <https://archives.loire.fr/>

⁴ <https://www.onac-vg.fr/>

⁵ <https://www.saint-etienne.fr/culture/ville-d039art-d039histoire>

⁶ <https://remonterletemps.ign.fr/>

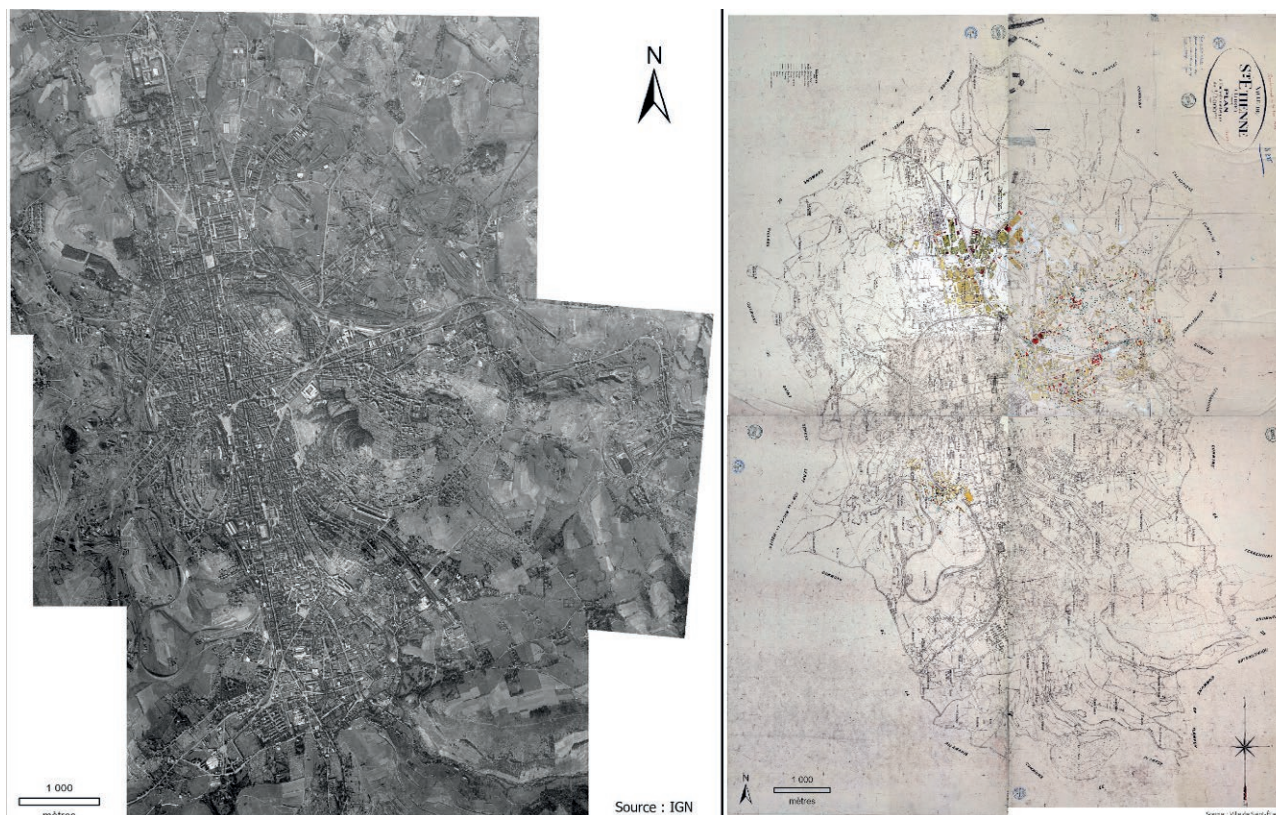


Figure 4. Données sources : mosaïque homogénéisée des photographies aériennes de 1942 (gauche) et plan d'avant-guerre (droite) de la ville de Saint-Étienne. Réalisation : élaboration des auteurs.

1944 (Fig. 5). Elle est issue de la fusion des deux plus anciennes couches dont nous disposons : la première est fournie par la ville de Saint-Étienne créée par photogrammétrie sur la base de photographies aériennes de 2001. Elle présente l'avantage de décrire des bâtiments avec plus de détails, notamment quant à leur hauteur. La seconde, datant de 2006, est fournie par l'IGN et permet de compléter la précédente, notamment en périphérie de la zone d'étude non couverte par la première. L'enjeu consiste alors à une rétrogradation temporelle de la couche ainsi obtenue : les bâtiments construits depuis la période considérée sont supprimés, et ceux détruits sont digitalisés sur la base des photographies aériennes de 1942. Une difficulté majeure consiste alors à leur attribuer une hauteur. Trois méthodes peuvent alors être appliquées : la consultation de sources écrites lorsqu'elles existent, une estimation d'après des photographies lorsqu'elles sont disponibles, une attribution arbitraire et donc subjective en se basant par exemple sur les bâtiments voisins et/ou *a priori* du même type. L'usage de la photogrammétrie aurait pu constituer une alternative que nous n'avons pas explorée faute de

temps. Au total, 11 337 bâtiments sont intégrés à notre base de données.

La seconde couche vecteur regroupe l'ensemble des points d'impacts du bombardement du 26 mai 1944. On en compte 975 au total. La troisième couche porte, sous la forme de points, l'ensemble des 66 événements ayant été identifiés dans les sources et validés par les experts. À chaque point sont associées des données attributaires (Tab. 1) permettant de documenter chaque événement.

La dernière couche vectorielle porte des entités *multipatch* correspondant à un type d'objet géométrique permettant de représenter des objets en 3D plus ou moins complexes dont des bâtiments, des ponts... Ces derniers peuvent donc avoir des formes et des tailles variées. Une entité multipatch est généralement composée de plusieurs surfaces (comme des triangles, des carrés, des rectangles, etc.) connectées les unes aux autres pour former une forme en 3D. Ces surfaces peuvent être de différents types, tels que des surfaces planes, incurvées ou même avec des vides. Il est également possible d'attribuer des textures à chacune d'elles, notamment des photographies. Un intérêt non négligeable de ce type de couche est qu'il

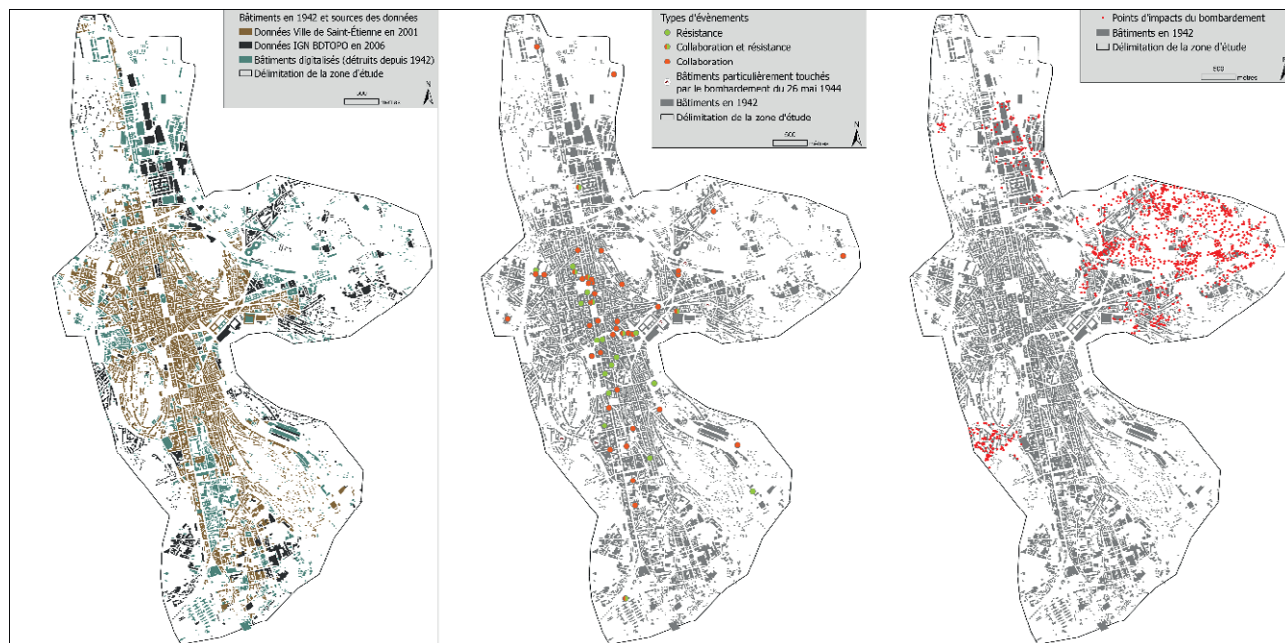


Figure 5. Les différentes couches vectorielles produites. Réalisation : élaboration des auteurs.

est tout à fait possible de remplacer une ou plusieurs entités *multipatch* par de “ véritables ” objets 3D créés avec des logiciels spécialisés (e.g. Blender). Cette couche porte 406 entités *multipatch* constituant 63 bâtiments uniques.

D'autres couches secondaires ont été créées : une regroupant les rues de la ville (une entité surfacique complexe), une autre les voies ferrées (95 tronçons), une correspondant à la limite de la zone d'étude et enfin une autre portant 339 arbres à des fins esthétiques. Nous disposons enfin d'un modèle numérique de terrain (MNT) issue de la BDALTI de l'IGN au pas de 25 m et donc de résolution suffisante pour notre usage.

2.5. Modélisation 3D

Cette étape a consisté à intégrer l'ensemble des données mentionnées précédemment dans une scène 3D dans le logiciel ArcGIS Pro. Ce faisant, il est possible de proposer une maquette de la ville de Saint-Étienne en 1942. Il s'agit d'une représentation qui reste symbolique. Tous les bâtiments ne sont pas reconstitués avec précision. La plupart ne sont représentés que par des polygones extrudés selon la valeur de leur hauteur telle que renseignée dans la table attributaire. Seuls les bâtiments symboliques de la ville ou ceux qui ont été le siège d'événements identifiés sont reconstitués de manière réaliste, et encore selon différents degrés qui, avec plus de temps, pourraient être affinés. Pour ceux-ci, c'est donc le format

multipatch qui est utilisé. À partir de cartes postales et de photographies, nous avons pu attribuer des textures aux façades de ces derniers (Fig. 6).

Nous avons également intégré (par substitution) des objets 3D qui étaient plus difficilement modélisables avec des entités *multipatch* (voire qui ne pouvaient pas l'être). C'est par exemple le cas du kiosque à musique de la Place Jean Jaurès dont nous avons récupéré une version très simplifiée⁷ ou bien de l'église Saint-François-Régis partiellement détruite lors du bombardement du 26 mai 1944 (Fig. 6) (modèle 3D créé sur la base d'un autre modèle téléchargé sur le site 3dwarehouse⁸ mais indisponible maintenant). Il ne s'agit donc pas là de vue réaliste. Ceci pourra évoluer.

On note une réelle dualité quant à la représentation des bâtiments (Fig. 7). La raison est double. Tout d'abord, la reconstitution de l'ensemble des bâtiments aurait été une tâche vraiment très lourde. Bien sûr, il existe des données que nous aurions pu mobiliser. Le CRAIG (Centre Régional Auvergne-Rhône-Alpes de l'Information Géographique)⁹ propose en OpenData des données raster et vecteur 3D sur la ville de Saint-Étienne. Une telle donnée nous aurait permis d'obte-

⁷ <https://3dwarehouse.sketchup.com/model/9ed7732e9d15fad49b-bef973cc1034f9/Place-Jean-Jaur%C3%A8s-42000-Saint-%C3-89tienne-Loire-Rh%C3%B4ne-Alpes-France>

⁸ <https://3dwarehouse.sketchup.com/>

⁹ <https://www.craig.fr/>

Tableau 1. Description des champs de la table attributaire de la couche «Évènements». Réalisation : élaboration des auteurs.

OBJECTID	Identifiant unique automatique
SHAPE	Type de géométrie ; point
identifiant	Identifiant unique manuel
nom du lieu	Nom du lieu
adresse actuelle	Adresse contemporaine
adresse ancienne	Adresse pendant la période concernée
description de l'évènement	Description de l'évènement
typologie de l'évènement	Type d'évènement ; Collaboration / Résistance / Mixte (lieu)
date de l'évènement	Date / Temporalité
image	Lien web vers une illustration
source de l'image	Description et source de l'illustration
lien	Lien vers la source de l'illustration
contact	Texte pour contacter le mémorial destiné aux visiteurs de la Web App
POINT_X	Coordonnée X du point
POINT_Y	Coordonnée Y du point

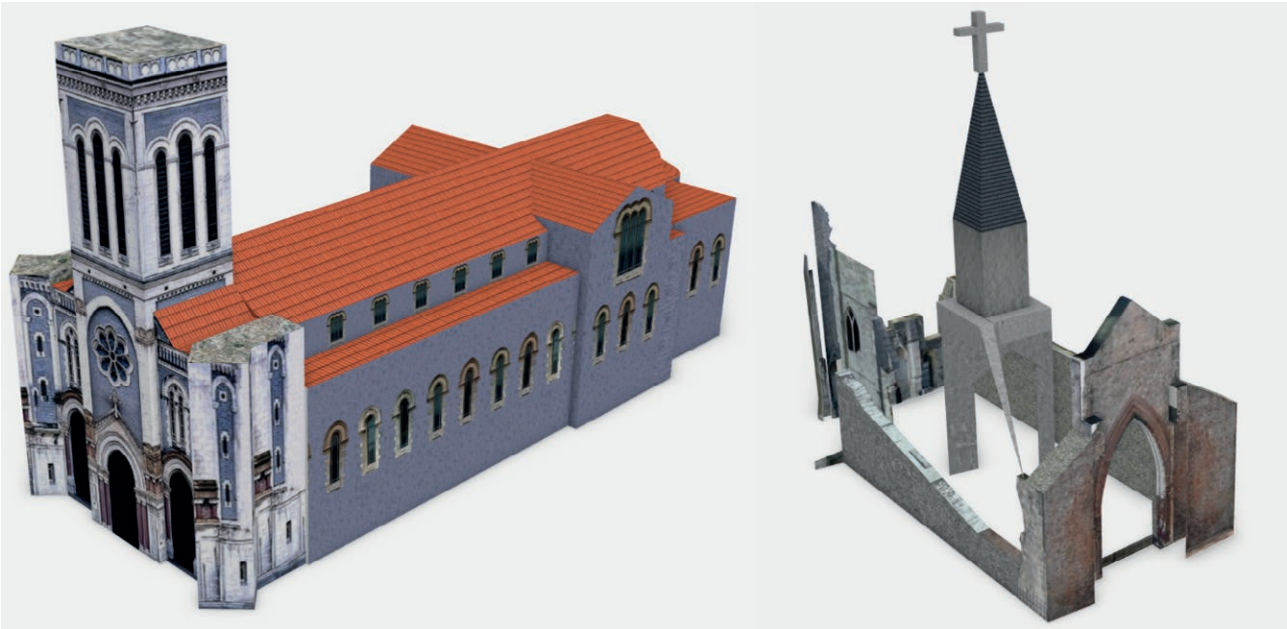


Figure 6. La cathédrale Saint-Charles-Borromée de Saint-Étienne au format Multipatch (à gauche) et l'église Saint-François-Régis au format 3D (vue non réaliste) (à droite). Réalisation : élaboration des auteurs..

nir un rendu aussi proche que celui d'un Google Earth par exemple. Cependant, cela aurait aussi nécessité des manipulations assez lourdes pour en enlever les bâtiments disparus. Par ailleurs, il nous semblait important de ne pas noyer les informations que nous voulions au contraire mettre en avant, permettant ainsi à l'utilisateur de se concentrer sur l'essentiel, en l'occurrence les événements de résistances, de collaboration, d'occupation. Nous reviendrons sur ce point dans la discussion.

3. Résultats et discussion

Notre méthodologie permet donc d'obtenir un SIG géo-historique de la ville de Saint-Étienne pendant la période considérée. Y sont renseignés différents événements de résistances, de collaboration et occupation qui y ont eu cours et ce SIG intègre une composante 3D. Il permet de procéder à des requêtes attributaires permettant d'identifier la nature des éléments ou des bâtiments.



Figure 7. Scène 3D (en haut) comparée à une vue Google Earth (en bas) du quartier Tréfilerie (Caserne Desnoettes ; Caserne Rulhière). Réalisation : élaboration des auteurs.

Il est possible de réaliser de simples cartes “ en 2D ” et des scènes 3D (Fig. 8).

Cette géovisualisation 3D est également disponible via une application web partagée publiquement sur ArcGIS online¹⁰. Dynamique et interactive, elle peut être consultée depuis un simple navigateur web. Les utilisateurs peuvent donc naviguer facilement dans cette scène 3D, interagir avec tous les objets en cliquant dessus (les informations incluses dans les tables d'attributs sont affichées dans une fenêtre pop-up (Fig. 8). L'interface, par le biais de 3 icônes (autres celles de navigation), donne également la possibilité de choisir les couches que l'on souhaite activer (on gagnera parfois à désactiver la couche “ Tissu urbain ” qui alourdit l'affichage et la navigation) et propose même l'accès des diapositives, équivalentes à des géo-signets, qui permettent de parcourir la maquette d'un lieu à l'autre.

Par ailleurs, une autre façon de partager les résultats de la modélisation est l'exportation au format vidéo¹¹. Bien sûr, ces vidéos peuvent être enrichies par montage

et ajout de documents d'archive, de commentaires. Des thèmes ou des périodes, comme la Seconde Guerre mondiale, ne sauraient être présentés aux publics comme cela se faisait auparavant, c'est-à-dire avec des panneaux ou des modèles réduits. Même à propos d'un sujet aussi délicat que la guerre, nous devons aujourd'hui proposer des outils simples, accessibles, pédagogiques. L'élève, l'étudiant ou le visiteur non averti doit pouvoir obtenir des réponses rapides et fondées sur les acquis de la science. De ce point de vue, la géovisualisation proposée répond amplement à ces exigences (Rasse 2017). Demeure l'épineux problème de l'authenticité des objets offerts au regard des publics (Gob, Drouguet 2021). Notre modélisation est construite à partir d'un authentique plan de Saint-Étienne durant la période, de photographies aériennes et certains édifices sont reconstitués à partir de photographies, voire à partir de la réalité lorsqu'ils existent toujours. Ils présentent donc une plus grande probabilité de correspondance avec la réalité que pour certaines autres reconstitutions telle la clôture de chœur de l'abbatiale de Cluny, recrée virtuellement à partir de résultats de fouilles et sur la base d'hypothèses de restitutions (Rollier-Hanselmann et al. 2011). Ainsi, dans notre cas, nous sommes face à une ville de Saint-Étienne virtuelle et non en présence d'un “ vrai faux ” mais plutôt d'un “ faux vrai ” : toutes les garanties scientifiques autorisent la validation de ce qui est reconstitué. Les sources d'archives ont été suffisantes pour éviter les hypothèses souvent fondées sur l'analogie avec d'autres lieux ou d'autres exemples.

Cependant, ce n'est pas l'ensemble de la ville qui est reconstitué ici de manière fidèle. Si le tissu urbain est bien représenté tel qu'il était à l'époque considérée, la majorité des bâtiments est figurée par de simples parallélépipèdes dont la forme et la hauteur peut parfois être approximatives. Par ailleurs il conviendrait de reprendre la modélisation 3D de quelques bâtiments (e.g. l'église Saint-François-Régis). La maquette n'est pas figée mais est au contraire évolutive et cela pourra être intégré plus tard.

Nous aurions pu contourner cette limite en utilisant les données Raster et Vecteur 3D fournies par le CRAIG et mentionnées plus haut, soit dans leur intégralité, soit en en extrayant des quartiers ou des bâtiments en particulier. Outre, comme nous l'avons évoqué plus haut, un temps de traitement important pour les intégrer, ces données contemporaines auraient induit certains anachronismes (Fig. 9) : unités extérieures de climatisations, moteur de VMC, terrasses tropéziennes, enseignes commerciales contemporaines, voitures... Évidemment, un moyen simple de s'affranchir de ce problème serait de l'assumer et d'en informer l'utilisateur.

¹⁰ <https://arcgis.is/1Kqj4v>

¹¹ Voici un court exemple de survol de notre maquette 3D depuis le sud de la ville en direction du Nord <https://pod.univ-st-etienne.fr/video/1100-memoires-de-la-seconde-guerre-mondiale-a-saint-etienne/>

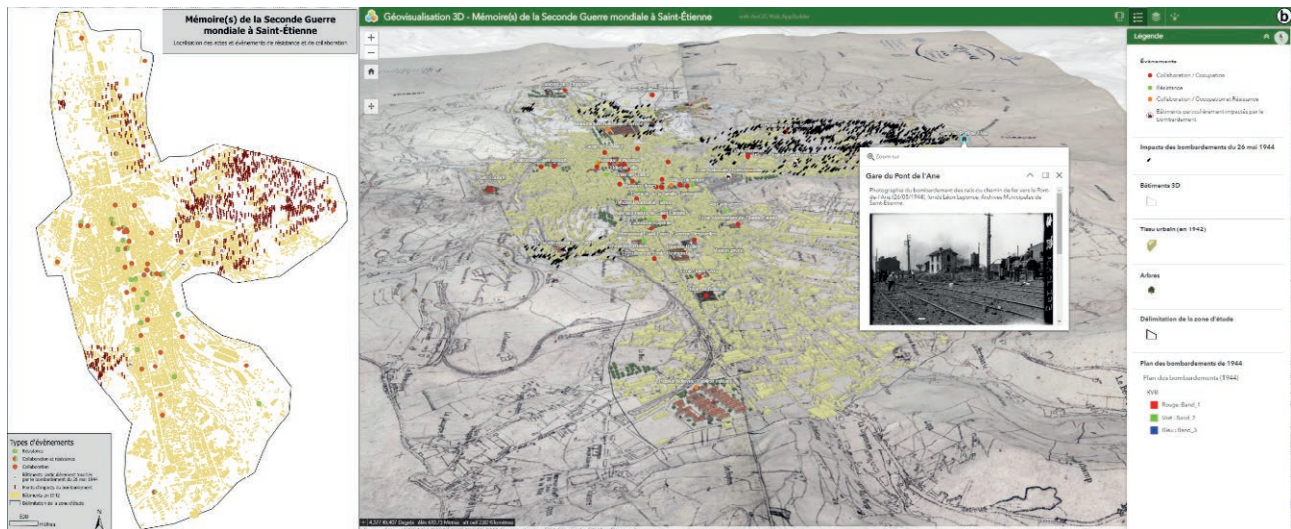


Figure 8. Cartographie des mémoire(s) de la Seconde Guerre mondiale à Saint-Étienne et Scène 3D (Webapp) sur ArcGIS Online. Réalisation : élaboration des auteurs.



Figure 9. Une même scène, plusieurs possibilités : bâtiments extrudés + Multipatch (a), bâtiments extrudés + données BD CRAIG (b), Données CRAIG (c). Réalisation : élaboration des auteurs.

Mais cette utilisation de simples bâtiments extrudés est aussi choisie dans notre cas. Notre objectif n'était pas de créer un "jumeau numérique" à la ville de Saint-Étienne mais de mettre en perspective des événements et certains lieux dans lesquels ils se sont déroulés. Il s'agissait de recontextualiser, avec le plus de justesse possible, ces lieux au cœur d'un tissu urbain transfiguré depuis. Rien ne sert alors de noyer ces éléments dans un trop plein d'informations qui pourrait détourner l'utilisateur de l'objectif initial.

Ainsi, il est possible d'imaginer trois niveaux de représentation (Fig. 9). Le premier combinerait des bâtiments simplifiés et les bâtiments d'intérêts thématiques. Le deuxième se verrait ajouter certains bâtiments iconiques de la ville, permettant à l'utilisateur de mieux se repérer dans l'espace (c'est celui que nous avons choisi). Le troisième correspondrait à un rendu le plus réaliste possible.

Il est par ailleurs intéressant de voir que la carte et la maquette en général servent à la conduite de la guerre, à

la délimitation des conflits et éventuellement à leur résolution (par le tracé de nouvelles frontières par exemple) ou encore à leur analyse *a posteriori*. Nous les plaçons là comme outils de mémoire. Ainsi, sous le règne de Louis XIV, Vauban a fait exécuter des plans-reliefs des grandes places fortifiées françaises destinés à la préparation de plan de guerre, ces maquettes anticipaient de beaucoup sur le type de géovisualisation 3D que nous présentons. Nos maquettes sont désormais des outils pacifiques mais comportent une valeur didactique et documentaire du même ordre. Peut-être ces cartes virtuelles deviendront-elles, à leur tour, des objets patrimoniaux, et ce, à l'image des plans-reliefs exposés de nos jours dans les musées tel le Musée des Plans-Reliefs, aux Invalides¹².

Comme nous l'avons proposé dans une recherche précédente (Mazagol et al. 2021), ce type de maquettes

¹² <http://www.museedesplansreliefs.culture.fr/>

3D mobilise deux types de mémoires. Une mémoire individuelle et collective des héritages matériels et immatériels qu'il faut préserver, même lorsqu'ils ont déjà disparu mais aussi une mémoire en tant que stockage de données. Concernant ce dernier type de mémoire, la création d'une base de données spatiales peut être considérée comme un outil de "copie de sauvegarde" des héritages. Il semble important de mettre en œuvre une telle approche pour créer une base de connaissances SIG 3D territoriale complète. Elle opère comme une sauvegarde de ces héritages culturels et des paysages originaux. Sans anticipation, la seule façon de procéder est de mener un travail d'archivage tel que réalisé dans cette étude, ce qui ne semble pas être la meilleure solution. En effet, lorsque le travail est effectué *a posteriori*, la récupération des informations peut être plus difficile, souvent partielle, et parfois impossible. Cela souligne bien l'intérêt des enquêtes menées au moment même des conflits, et plus largement la nécessité de documenter les héritages culturels. Ces deux types de mémoires évoqués précédemment sont liés, la mémoire des événements restant vive grâce à la "mémoire de sauvegarde".

Reinhard Koselleck a réfléchi sur les liens qui existaient entre Histoire et expérience. Il fait ainsi remarquer que les deux substantifs ont une grande proximité : l'étymologie des deux évoque les idées d'enquête et de recherche. Emmanuel Kant pense d'ailleurs que toute histoire est indissociable d'une expérience (Koselleck 1997). L'utilisation de la géo-visualisation des lieux de résistance et de collaboration est une forme originale pour mettre en rapport l'utilisation d'un outil permettant une expérience spatiale d'une série d'événements, avec une connaissance plus précise de la Seconde Guerre mondiale. Il n'est pas question de séparer l'appréhension sensible d'une série de faits par l'ouïe ou la vue, de la connaissance intellectuelle et plus construite d'une période donnée. La géo-visualisation est ainsi une forme d'expérience nouvelle qui transforme la manière de transcrire l'histoire et peut ainsi bouleverser la méthodologie de l'historien.

Enfin, il ne faut pas perdre de vue que dans notre recherche, il s'agit d'une mémoire régionale. Ainsi, dans notre modélisation, Saint-Étienne est pour ainsi dire coupée du monde et de ce qui se passe à d'autres échelles. Carte et maquette sont de ce point de vue trompeuses, en effet seuls la présence allemande et le bombardement renvoient à ce qui se passe à l'extérieur de la ville.

Malgré cela, leurs valeurs didactiques, pédagogiques suscitent une forte attente de la part des sites de mémoire, tels que les musées et les mémoriaux. En effet, nous voyons émerger la figure nouvelle de "lieux de mémoire", c'est-à-dire des objets reconnus par la

communauté comme des symboles d'un temps, d'une action ou d'événements marquants (Nora 1984). C'est ainsi que l'église Saint-François-Régis ou l'école primaire de Tardy, où des élèves et des enseignants ont été tués lors du bombardement, sont désormais des "lieux de mémoire" stéphanois se rattachant au bombardement du 26 mai. À ce titre ils figurent sur la maquette et peuvent servir de support à une réflexion pédagogique.

C'est pour cela que nous avons reçu le soutien indéfectible du Mémorial de la Résistance et de la Déportation de la Loire qui a vu l'opportunité de disposer d'un outil permettant de centraliser et d'archiver une partie de la connaissance accumulée par les experts, mais aussi de disposer d'outils de communication auprès du grand public et notamment des scolaires. Notre maquette et ses dérivés prendront une place prépondérante dans la modernisation de son exposition qui aura lieu en 2026 dans le cadre de son déménagement vers de nouveaux locaux. Jusqu'alors, les visiteurs prenaient connaissance des événements et des lieux par le truchement de panneaux d'exposition. Avec ce nouvel outil, ils peuvent désormais, sans intermédiaire, découvrir les lieux et événements référencés et interagir et ainsi mieux appréhender une réalité disparue. Ce sera l'occasion d'éprouver notre travail auprès de larges publics (scolaires, étudiants, semi-experts, grand public...) et de proposer également de nouvelles évolutions sur lesquelles nous sommes d'ores et déjà en train de travailler.

Parmi celles-ci, on peut d'abord avancer l'ajout d'une dynamique temporelle à notre cartographie et à notre maquette 3D. En effet, elle présente une synchronicité dans la mesure où tous les événements y sont représentés en même temps quand bien même ils ont eu lieu à des moments différents. L'ajout d'une barre de défilement dans l'appli web est aisé pour une simple cartographie web, plus compliqué dans une modélisation 3D, mais dans les deux cas cela complexifierait ou tout du moins alourdirait l'interface au risque de perturber l'utilisateur.

Ensuite, l'ouïe est un sens qui n'est pas mobilisé dans notre modélisation 3D alors qu'il pourrait s'avérer un élément déterminant dans la perception de ces différents événements par l'utilisateur : bruits des bombes, bruits des bottes, discours de personnalités... autant de sons caractéristiques que l'on peut puiser dans les archives audios ou envisager des reconstitutions à l'instar de celles menées, par exemple, dans le cadre du projet Bretez (Pardoen 2019). Il faudrait cependant se méfier des anachronismes : pour exemple, il serait incongru d'utiliser le Chant des partisans dont les paroles de Joseph Kessel et Maurice Druon sont écrites en mai 1943 et qui n'est diffusé en France qu'à la fin de la guerre.

Mais, compte tenu de notre objectif d'intéresser, d'interpeller les nouvelles générations, la perspective d'évolution de nos travaux la plus prometteuse, bien que la plus complexe, consiste dans le couplage de nos bases de données SIG 3D avec des outils 3D réalistes qui offrent la possibilité d'explorer ces données en réalité virtuelle ou, *a minima*, par l'intermédiaire de vidéos à 360°. Dans cette optique, nous avons commencé à explorer plusieurs pistes que nous ne détaillerons pas dans le cadre de cet article. Mais nous avons d'ores et déjà obtenu de premiers résultats dont nous proposons pour les illustrer deux rendus tests. En important notre base de données dans ArcGIS City Engine¹³ et en créant des applications de réalité virtuelle disponibles, via ArcGIS Online, sur ArcGIS 360 VR¹⁴. Nous proposons, en guise d'exemple, une de ces applications¹⁵. Par ailleurs, nous avons alors pu importer ces données dans le logiciel Twinmotion¹⁶ développé par Epic Games et permettant la visualisation 3D en temps réel. Cet outil permet la navigation au sein de la modélisation 3D, l'exploration en utilisant un casque de réalité virtuelle et la création de vidéo à 360° dans lesquelles l'utilisateur, sans être maître de ses déplacements, peut choisir où il regarde. Nous proposons une telle vidéo¹⁷ dans laquelle nous jouons avec les différents types de données 3D comme expliqué plus haut (Fig. 9). Le couplage des outils SIG 3D avec les outils spécialisés et la réalité virtuelle semble donc très prometteur.

Pour finir, il conviendra aussi de mener une réflexion plus avancée sur la symbologie à utiliser pour figurer les événements. Par exemple, nous avons choisi, pour matérialiser les assassinats et les meurtres une silhouette de cadavre dessinée au sol. Il importera de s'interroger sur la pertinence de ce choix et sur les éventuelles alternatives et d'y réfléchir avec, par exemple, des collègues sociologues.

4. Conclusion

La méthodologie proposée ici permet d'obtenir des résultats répondant aux besoins exprimés par de nombreux mémoriaux et musées qui souhaitent mobiliser les nouvelles générations et les futures en leur transmettant les mémoires des événements passés. Parmi ces résultats,

la modélisation 3D donne la possibilité de proposer une représentation passée de la ville, telle qu'elle était auparavant, avec un certain réalisme et permet aux habitants de s'y immerger. De ce fait, elle s'impose comme un moyen de réintégrer la guerre et les événements associés, dans un espace du vécu, même si le média utilisé reste neutre puisque ce n'est qu'une modélisation. Pour tout cela, ce média se présente comme un outil efficient pour l'éducation civique, et ce d'autant plus qu'il s'agit là d'une mémoire douloureuse. La modélisation se pose alors comme instrument pouvant permettre un travail de mémoire avec la possibilité d'une ouverture à une action citoyenne. Il permet dans notre cas, un rappel que même une ville comme Saint-Étienne peut être touchée par la guerre.

Certains opposeront à ce constat que le rendu n'est pas à la hauteur de ce que certains jeux vidéo proposent. Nous répondrons que là n'était pas notre objectif et que ce que nous proposons n'est pas un simple jeu ou un outil cosmétique, mais avant tout une archive moderne, spatialisée, numérisée de cette mémoire que tout un chacun peut interroger de manière interactive.

Nous avons bien là une illustration de l'intérêt des géotechnologies et de leur association aux outils 3D, dont la réalité virtuelle, pour l'étude, la gestion, la valorisation des héritages culturels. Et ce faisant, nous démontrons l'intérêt d'un projet comme MINERVA¹⁸ visant à encourager l'apprentissage de ces méthodes et outils de la géomatique au sein des cursus spécialisés dans les patrimoines.

Références bibliographiques

- Belhi, A., Ahmed, H.O., Alfaqheri, T., Bouras, A., Sadka, A.H., Fofou, S. (2024). An integrated framework for the interaction and 3D visualization of cultural heritage. *Multimedia Tools and Applications*, 83, 46653-46681. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-023-14341-0>
- Berti, C., Landi, F. (a cura di, 2019). *Disegni d'acqua. Acque e trasformazioni del territorio*, Firenze, Università degli Studi di Firenze-Laboratorio di Geografia applicata, Phasar Edizioni.
- Campanaro, D. M., Landeschi, G., Dell'Unto, N., Leander Touati, A.M. (2016). 3D GIS for cultural heritage restoration: A 'white box' workflow. *Journal of Cultural Heritage*, 18, 321-332. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.09.006>

¹³ <https://www.esri.com/fr-fr/arcgis/products/arcgis-cityengine/overview>

¹⁴ <https://www.arcgis.com/apps/360vr/index.html>

¹⁵ <https://arcgis.com/apps/360vr/index.html>

¹⁶ <https://www.twinmotion.com/en-US>

¹⁷ <https://pod.univ-st-etienne.fr/video/1248-exemple-de-video-a-360-maquette-3d-saint-etienne-pendant-la-seconde-guerre-mondiale/>

¹⁸ <https://minerva-erasmus.com/>

- Deguy, P., Leporatti, S., Pulice, S., Vanni Desideri, A. (2019). Ricostruire e comunicare il paesaggio storico. Archeologia, rilievo aerofotogrammetrico tramite SAPR, Virtual Landscaping. *Atti della XXII conferenza ASITA*. Milano, ASITA 1065-1073. <http://atti.asita.it/ASITA2019/Autori/180.html>
- Dell'Unto, N., Landeschi, G., Leander Touati, A.-M., Dellepiane, M., Callieri, M., Ferdani, D. (2016). Experiencing Ancient Buildings from a 3D GIS Perspective: A Case Drawn from the Swedish Pompeii Project. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 23(1), 73-94. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10816-014-9226-7>
- Depeyre, M., Aventurier, G., Rojas, L., Bouligaud, R. (2018). *Entre ombre et lumière. Le département de la Loire de 1939 à 1945*. Saint-Étienne, Actes Graphiques.
- Gebelein, J. (2009). Blending History with Geographic Information System Technology: Using USS Arizona GIS Data to Engage Students in Technology and History of the Pearl Harbor Attack. *Geography Compass*, 3(6), 2011-2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2009.00269.x>
- Gob, A., Drouguet, N. (2021). *La muséologie* (5th ed.), Malakoff, Armand Colin.
- Jacquino, F. (2014). *Production, pratique et usages des géovisualisations 3D dans l'aménagement du territoire*. Thèse de doctorat, Université de Saint-Etienne, France.
- Juhász, A. (2014). New Achievements in WWII Military Historical Reconstruction with GIS. *AARMS – Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 13(3), 413-424. DOI: <https://doi.org/10.32565/aarms.2014.3.4>
- Koselleck, R. (1997). *L'Expérience de l'histoire*. Paris, Editions Seuil.
- Luirard, M. (1980). *La région stéphanoise dans la guerre et dans la paix (1936-1951)*. Saint-Étienne, Centre d'études foréziennes.
- Malraux, A. (1952). *Le musée imaginaire*. Paris, Gallimard.
- Mazagol, P.O., Niogret, P., Riquier, J., Depeyre, M., Ratajczak, R., Crispim-Junior, C., Tougne, L. (2021). Tools Against Oblivion: 3D Visualization of Sunken Landscapes and Cultural Heritages Applied to a Dam Reservoir in the Gorges de la Loire (France). *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 5(1), 2. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41651-020-00072-5>
- Mendoza, M. A. D., De La Hoz Franco, E., Gómez, J. E. G. (2023). Technologies for the Preservation of Cultural Heritage. A Systematic Review of the Literature. *Sustainability*, 15(2), 2. DOI : <https://doi.org/10.3390/su15021059>
- Nora, P. (1984). *Les lieux de mémoire*. Paris, Gallimard.
- Pardoen, M. (2019). Projet Bretez: une pincée de son dans l'Histoire. *Digital Studies/le Champ Numérique*, 9(1), 11. DOI: <http://doi.org/10.16995/dscn.350>
- Polończyk, A., Lupa, M., Leśniak, A. (2023). Role of Geographic Information Systems in analysing the selection of cichociemni drop zones based on a case study of the "Mewa 1" drop zone. *Polish Cartographical Review*, 55(1), 87-110. DOI: <https://doi.org/10.2478/pcr-2023-0008>
- Rasse, P. (2017). *Le musée réinventé*. Paris, CNRS Editions.
- Rodier, X., Barge, O., Saligny, L., Nuninger, L., Bertonecello, F. (2011). *Information Spatiale et Archéologie*. Paris, Editions Errance.
- Rollier-Hanselmann, J., Schotté, G., Landrieu, J., Poupart, N. (2011). La reconstitution 3D du chevet de Cluny III: Clôture de chœur, stalles, pavement, peintures murales et vitraux. *Bulletin du centre d'études médiévales d'Auxerre*, 15, 183-201. DOI: <https://doi.org/10.4000/cem.11962>
- Schindling, J., Gibbes, C. (2014). LiDAR as a tool for archaeological research: A case study. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 6(4), 411-423. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12520-014-0178-3>
- Swanson, M. (2004). *26 mai 1944, le bombardement de Saint-Étienne: Pourquoi ?* Saint-Étienne, Actes graphiques.
- Whitworth, W., Ayers, O. (2022). Mapping Black London in World War II: A staged approach to digital spatial history. *Digital Scholarship in the Humanities*, 37(4), 1339-1357. DOI: <https://doi.org/10.1093/llc/fqab085>