

Thierry Hatt
Professeur agrégé de l'Université
Consultant auprès du Musée Historique de Strasbourg

Mars 2004

PLAN RELIEF DE STRASBOURG
EN 1725
VUE AERIENNE ZENITHALE
PHOTOGRAPHIE NUMERIQUE ET
ASSEMBLAGE

Le plan relief de Strasbourg est un conservé au Musée Historique de Strasbourg, mes remerciements vont à sa conservatrice en chef, Monique Fuchs

La publication est en basse résolution pour des raisons d'encombrement Internet

Plan

<i>I. Introduction</i>	<i>3</i>
<i>II. Le dispositif matériel</i>	<i>3</i>
A. Campagne de juin 2002	3
B. Campagne d'octobre 2002	4
<i>III. Etapes de l'assemblage numérique</i>	<i>4</i>
A. Correction des distorsions liées à l'optique	4
B. Assemblage des sous-images par logiciel ou « à la main »	5
C. Corrections et homogénéisation colorimétriques	5
D. Assemblage proprement dit des tables	5
<i>IV. Exemple de vues rapprochées</i>	<i>6</i>
<i>V. Conclusion</i>	<i>7</i>
<i>VI. Table des figures</i>	<i>24</i>

I. Introduction

Nous avons entrepris la photographie numérique du plan de 1725 en trois campagnes, juin, septembre et octobre 2002¹. L'objectif était triple : campagne de sauvegarde avant restauration, travail pédagogique dans le cadre d'une convention avec le Lycée Fustel de Coulanges², numérisation des vues zénithales en vue de l'introduction du plan relief dans un système d'information géographique historique sur Strasbourg³. Nous décrivons ici ce travail. En juin 2002, nous avons d'abord photographié quelques photographies aériennes partielles, il n'a pas été possible de le photographier en totalité, faute de temps. Nous avons donc réalisé avec l'aide de Jean Erfurth, photographe de la DRAC, en octobre 2002, la photographie numérique zénithale exhaustive des tables démontées. L'assemblage numérique des tables photographiées séparément a de ce fait posé un certain nombre de problèmes de remontage que nous examinerons après avoir décrit les dispositifs utilisés⁴.

II. Le dispositif matériel

A. Campagne de juin 2002

Nous avons réalisé des photographies aériennes partielles en nous appuyant sur le dispositif décrit Figure 4, trépied en surplomb au-dessus du plan, la passerelle servant d'axe X, le déplacement sur les rambardes d'axe Y. les tables étant encore montées. On

¹ « Bilan des opérations de numérisation des photographies des plans relief de 1725-1836 disponibles à la Drac et aux Archives Municipales de Strasbourg », Convention DRAC-AMSC-Lycée Fustel de Coulanges, octobre 2001, 13 p.

http://sirius.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/ra/op-num-pr-drac-ams.pdf

« Campagnes de photographies numériques des plans relief de Strasbourg de 1725 et 1836-63, (première phase), rapport à l'attention de Monsieur le Directeur des Musées de Strasbourg », Musée Historique de Strasbourg, octobre 2002, 37 p. http://sirius.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/ra/rapport-herrgott-06-br.pdf

« Campagnes photographiques de sauvegarde du plan relief de 1725 du Musée Historique de Strasbourg, index photographique des cédéroms des images numériques », Musée Historique de Strasbourg, 2002, 117 p.

² « *Histoire urbaine de Strasbourg, de la carte au bâtiment, 1674-2003* », Construction d'un système d'information géographique historique sur la ville,, intégration du plan relief de 1725 en tant qu'étape dans la dynamique urbaine, de la carte d'ensemble au détail du bâtiment. : (0.413 Go, 6863 fichiers, 2000 images); http://www.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/sig-stg-gl/

³ « *Construction d'un système d'information géographique historique pour l'histoire urbaine de Strasbourg, 1674-2000* », Revue d'Alsace, septembre 2003, 13 p., http://sirius.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/ra/hatt-article-revue-alsace.pdf

« *Un SIG pour une cartographie historique de Strasbourg, de la carte à l'immeuble* », XYZ, Association Française de Topographie, n° 92, septembre 2002, 5 p., http://sirius.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/xyz/xyz_92.pdf

« *Méthodologie d'histoire urbaine, avec un SIG, Strasbourg de la carte au bâtiment, 1674-2003* », conférence du DEA « Images et société », Université Marc Bloch, janvier 2003, 269 p., http://sirius.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/ra/Hatt-cours-dea-2003.pdf

« *Dynamique urbaine, le bâti et les espaces verts à Strasbourg, 1725-2000* », Musée Historique de Strasbourg, mars 2003, 49 p., http://sirius.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/ra/hatt-bati-vert-1725-2000.pdf

⁴ Mes remerciements vont à Monique Fuchs, conservatrice du Musée Historique, Frédérique Boura, conservatrice de l'Inventaire qui n'ont pas ménagé leur aide dans cette opération

trouvera ces images Figure 10 et Figure 11. Le remontage de la deuxième campagne, tables démontées, a été facilité par cette petite campagne initiale, en donnant une idée de la position relative des tables assemblées, car, après démontage, la largeur des joints, très variable, a été perdue.

B. Campagne d'octobre 2002

Après démontage par les restaurateurs, en septembre 2002, les tables du plan sont restées quelques semaines stockées au premier étage du Musée Historique, Figure 1. Jean Erfurth, photographe de la DRAC, a installé un échafaudage et des éclairages décrits Figure 2 et Figure 3 et a réalisé les photographies numériques avec mon aide. En raison de la circulation et des travaux en cours au Musée à cet étage, il n'a pas toujours été possible de maintenir des conditions homogènes d'éclairage, ce qui explique les variations de couleurs de certaines tables.

Chacune des tables, fort lourde, a été transportée sous le dispositif et photographiée en trois ou quatre parties avec recouvrement partiel de chaque image, pour faciliter le montage ultérieur, comme on peut le voir Figure 5. Il n'a pas toujours été possible de placer les tables à une hauteur identique sous l'appareil photographique, d'où des changements de taille relative malgré la focale fixe, changements qu'il a fallu compenser au traitement numérique. On remarque le caractère peu contrasté des images brutes, les tables sont en effet très poussiéreuses, le fond du parquet avec les repères au sol, tout ceci rend nécessaire traitement colorimétrique et détourage.

III. Etapes de l'assemblage numérique

A. Correction des distorsions liées à l'optique

Les données EXIF⁵ intégrées aux fichiers numériques permettent de connaître exactement les conditions de prise de vue :

Nom du fichier : 21-P7120379.TIF
Appareil : OLYMPUS OPTICAL CO. LTD E-10
Software : 42-0130
Date et heure : 2002:10:12 07:10:27
Temps de pose : 2,00 Sec
Diaphragme : F10,0
Programme d'ouverture : Priorité à l'ouverture
ISO : 80
Mode de mesure: Moyenne centrée pondérée
Focale : 9,00 mm – équivalent 35 mm

La focale de 35 mm est un inconvénient, une focale plus longue eût été préférable, mais il n'était guère possible de monter l'échafaudage plus haut. Il est heureusement possible

⁵ Le format EXIF, « Exchangeable image file format for digital still camera » est une norme de l'industrie japonaise de l'imagerie numérique, proposée en 1998, qui permet de stocker automatiquement des informations sur la prise de vue, grâce au logiciel de l'appareil numérique, dans les images TIFF et JPEG elles-mêmes. Une contrainte associée est qu'il est impératif d'utiliser un logiciel de traitement d'images récent sous peine de voir disparaître ces informations. Nous avons utilisé pour accéder aux informations EXIF le logiciel « Exif Reader » de Ryuuji Yoshimoto : <http://www.takenet.or.jp/~ryuuji/minisoft/exifread/english/>

de corriger les distorsions optiques par logiciel⁶, comme on peut le voir sur la Figure 9. On remarque l'importance de la correction géométrique nécessaire. Chacune des 73 sous-images des 23 tables est ainsi traitée.

B. Assemblage des sous-images par logiciel ou « à la main »

L'étape suivante consiste, après détournage des pièces, à réaliser l'assemblage des sous-images, assemblage qui est garanti par un recouvrement des trois ou quatre parties photographiées séparément, voir Figure 6. Une partie de ce travail peut être fait automatiquement avec un logiciel ad hoc⁷ mais certaines tables présentent des caractéristiques telles que ce logiciel échoue faute de repères suffisants, il faut alors terminer « à la main »⁸.

C. Corrections et homogénéisation colorimétriques

Une fois les 23 tables assemblées, elles sont soumises à deux traitements successifs : un rehaussement par contraste automatique de manière à caler les luminances de sortie sur les pieds de l'histogramme, puis un traitement par un algorithme de « correspondance de couleurs ». Cet outil de la version CS de Photoshop permet d'homogénéiser les couleurs des tables qui ont subi des éclairages parasites lors des passages intempestifs de chantier dans la zone de photographie des plans. On choisit la « meilleure » table et on effectue cette opération de correspondance pour chacune des 23 autres tables par rapport à cette table de référence.

D. Assemblage proprement dit des tables

L'ensemble des 23 tables a été placé provisoirement en « éclaté » comme l'indique la Figure 12, reconnaître leur place en l'absence de plan a été assez ardu. L'assemblage du puzzle a été également plus difficile que prévu, pour plusieurs raisons :

- La distance entre objectif et table au sol n'a pas toujours été la même car les supports des tables n'étaient pas toujours de même hauteur. Le poids des éléments limitait fortement les possibilités de changement de ces supports. La taille relative des images n'a donc pas pu être conservée.
- La distance entre les tables a été perdue une fois les tables séparées. Or certains joints sont très serrés voire forcés, d'autres très larges, de plusieurs centimètres, ce qui change évidemment la position relative des plaques et les angles des unes par rapport aux autres. On peut observer cette difficulté sur les zooms des Figure 19, Figure 21, Figure 22.

⁶ Nous avons utilisé PTStitcher de Helmut Dersch, module de Panorama Tools ;
<http://www.fh-furtwangen.de/~dersch/> avec le remarquable interface de Thomas Nieman :
<http://epaperpress.com/ptlens/index.html>

⁷ Nous avons utilisé Canon Stitcher fourni avec les appareils Canon. Ce produit, excellent, n'est pas disponible en dehors de l'achat d'un matériel Canon, il a l'avantage, en plus de l'efficacité de ses algorithmes de reconnaissance des formes, d'avoir une option rare pour l'utilisation comme numériseur à plat ce qui est précisément notre cas

⁸ Nous avons utilisé les différentes versions d'Adobe Photoshop, 5.0, 6.0, 7.0 et CS

- L'image finale est de très grande taille (17500 pixels x 8500 pixels, 106 Mo en mode jpeg) et une machine très puissante est nécessaire⁹, nous n'en disposons que depuis janvier 2004.

Nous avons décidé, au départ, de nous limiter à des homothéties (changements de taille proportionnels) et à des rotations. Malgré de multiples essais il n'a pas été possible de respecter complètement cette contrainte. Il a fallu effectuer des déformations non proportionnelles sur quelque tables pour réussir l'assemblage, nous les décrivons plus loin avec leurs conséquences.

1. L'hypothèse de déformation minimum

Le premier essai a consisté à remonter d'abord les tables qui s'ajustaient le plus facilement, puis à compléter progressivement l'assemblage en minimisant les déformations subies. Il a fallu néanmoins déformer « légèrement », cinq tables, les numéros 6, 11, 12, 16, 21, voir Figure 14. Les tables déformées sont superposées aux tables originales en transparence ce qui permet d'évaluer à l'œil la conséquence de ce choix. L'ignorance des écarts introduits par les joints plus ou moins large a été une gêne certaine lors de cette étape.

2. L'hypothèse de calage robuste sur le fond en place photographié en juin 2002

Une deuxième hypothèse, vers laquelle va ma préférence, a consisté à s'appuyer sur la campagne initiale de juin 2002, Figure 11. Les tables avaient été photographiées « en place ». L'ellipse insulaire, l'esplanade, la citadelle et le marais vert sont correctement positionnés et on reporte les déformations éventuelles vers les bords. C'est un choix intéressant d'avoir un bon positionnement dans la zone des fortifications et de la ville, il a l'inconvénient de reporter les déformations sur les bords. Il faut, déformer « légèrement » 6 tables, les numéros 5, 6, 7, 8, 13, 17, Figure 15. Contrairement à notre volonté de départ il n'a pas été possible de se limiter à des homothéties et des rotations et nous avons dû recourir à des transformations non proportionnelles. Les déformations relatives entraînées pour chaque table sont montrées par transparence, Figure 14 et Figure 15. Le résultat final est montré Figure 16.

3. Comparaison des deux hypothèses

L'erreur de positionnement entraînée par les hypothèses différentes est indiquée Figure 13. Le fond de carte du plan a été géo-rectifié sur un fond IGN 2000, nous avons utilisé les coordonnées GPS de ce fond pour calculer les décalages. Ceux-ci, par construction sont minimisés dans la région de la ville proprement dite, ils ont tendance à augmenter vers le Rhin. Nous avons décrit ailleurs, en détail, les qualités géométriques de l'hypothèse de déformation minimum¹⁰

⁹ Nous utilisons un PC sous Windows NT 2000 Pro, vitesse du processeur, 2.5 GHz, 1 Go de mémoire vive, deux disques rapides de 130 Go. La mémoire tampon d'Adobe Photoshop atteint fréquemment lors du traitement de ces grandes images 15 à 20 Go et l'image multicouche nécessaire pour la construction du puzzle dépasse 650 Mo en mode .psd

¹⁰ « Le plan relief de 1725 de Strasbourg, étude de la fiabilité documentaire du plan », Musée Historique de Strasbourg, janvier 2004, 106 p., http://sirius.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/ra/hatt-fiabilite-1725-br.pdf

IV. Exemple de vues rapprochées

Nous avons choisi un certain nombre d'exemples d'extraits du plan pour montrer la qualité et la finesse des détails obtenus. Le plan d'assemblage se trouve Figure 18. Les Figure 19 à Figure 27 montrent les exemples choisis.

V. Conclusion

Les opérations de photographie numérique et d'assemblage des images du plan relief de 1725 se sont révélées d'une lourdeur et d'une complexité inattendues.

Pourtant, le résultat en vaut la peine. Cette image, «virtuelle», reconstitution « impossible », n'a jamais pu être observée comme elle est donnée ici, y compris par les ingénieurs militaires, qui, au XVIII^e l'ont réalisée. Cette construction ne pouvait pas être envisagée avec les techniques analogiques traditionnelles, seule l'informatique la permet. La disponibilité sous forme numérique de ce plan au 1/600 ouvre des horizons très riches.

Les difficultés de remontage ont fait regretter de n'avoir pas pu terminer la couverture complète au moment où le plan était encore assemblé, le rôle des largeurs variables de joints, inconnues après démontage ayant été sous-estimé, il serait bon d'envisager, à l'aide d'un échafaudage ad-hoc, de refaire cette photographie après restauration en tirant les enseignements de ces deux campagnes.



Figure 1, tables du plan après démontage, en attente



Figure 2, à gauche, échafaudage pour la photographie zénithale des tables

Figure 3, à droite, montage de l'appareil photographique numérique Olympus E10

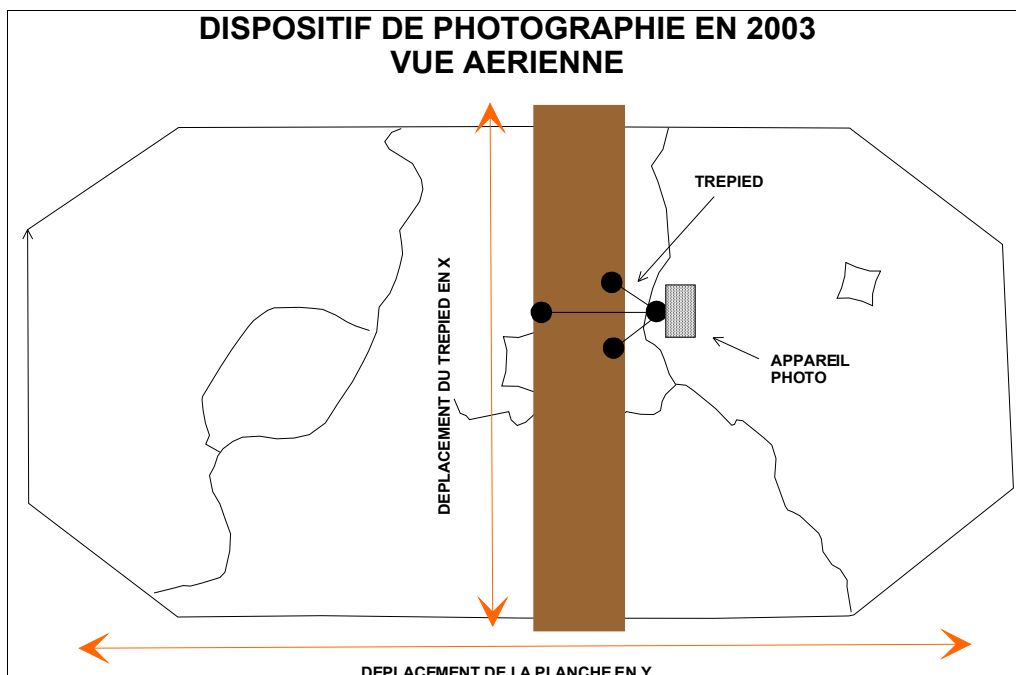


Figure 4, dispositif pour la photographie aérienne en juin 2002, le plan n'est pas encore démonté

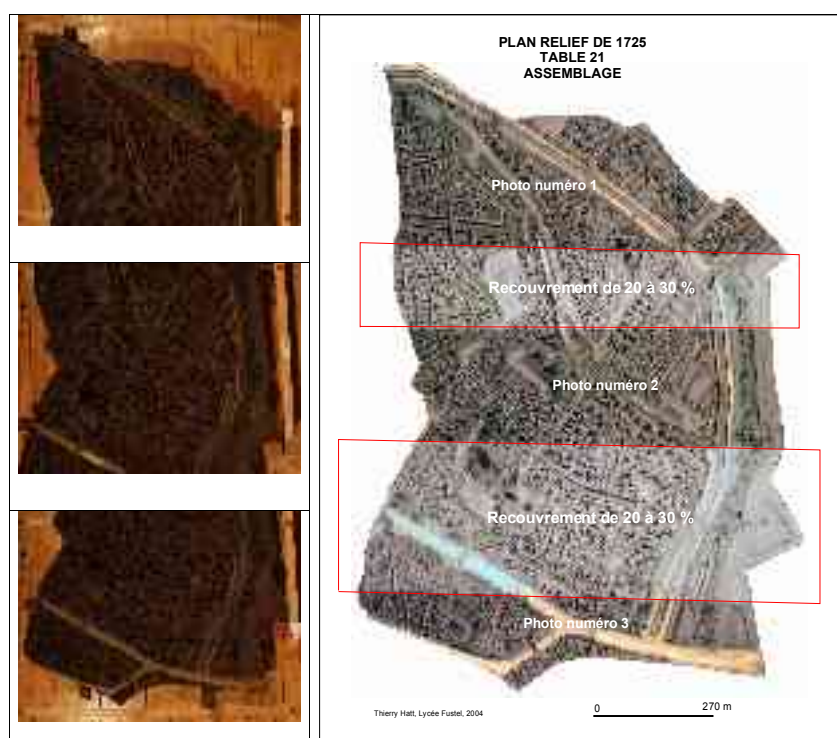


Figure 5, à gauche, images brutes de la table 21, avant traitement des couleurs et détourage

Figure 6, à droite, recouvrements nécessaires de 20 à 30 % entre images



Figure 7, images avant et après détourage et traitement des couleurs



Figure 8, impact des corrections des distorsions optiques liées à l'objectif

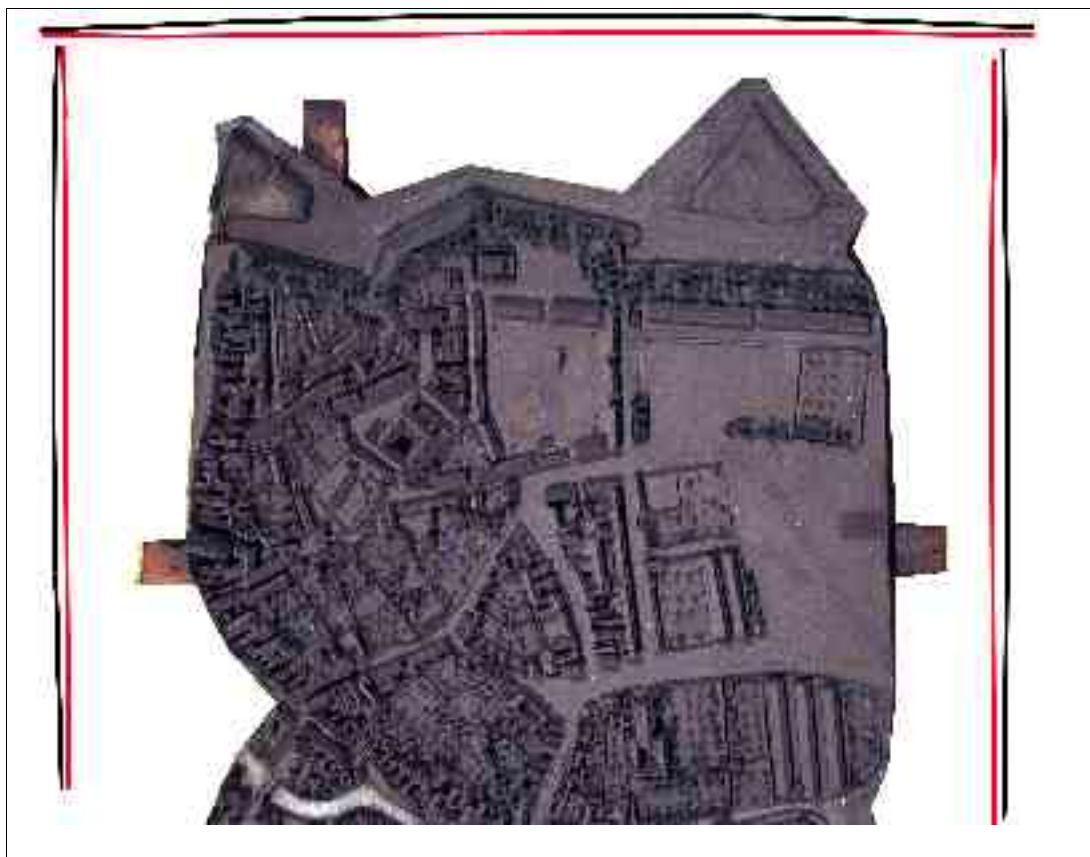


Figure 9, Zoom sur la table 18, avec tracé des indicateurs horizontaux et verticaux avant – en noir - et après – en rouge - correction des distorsions de l'optique

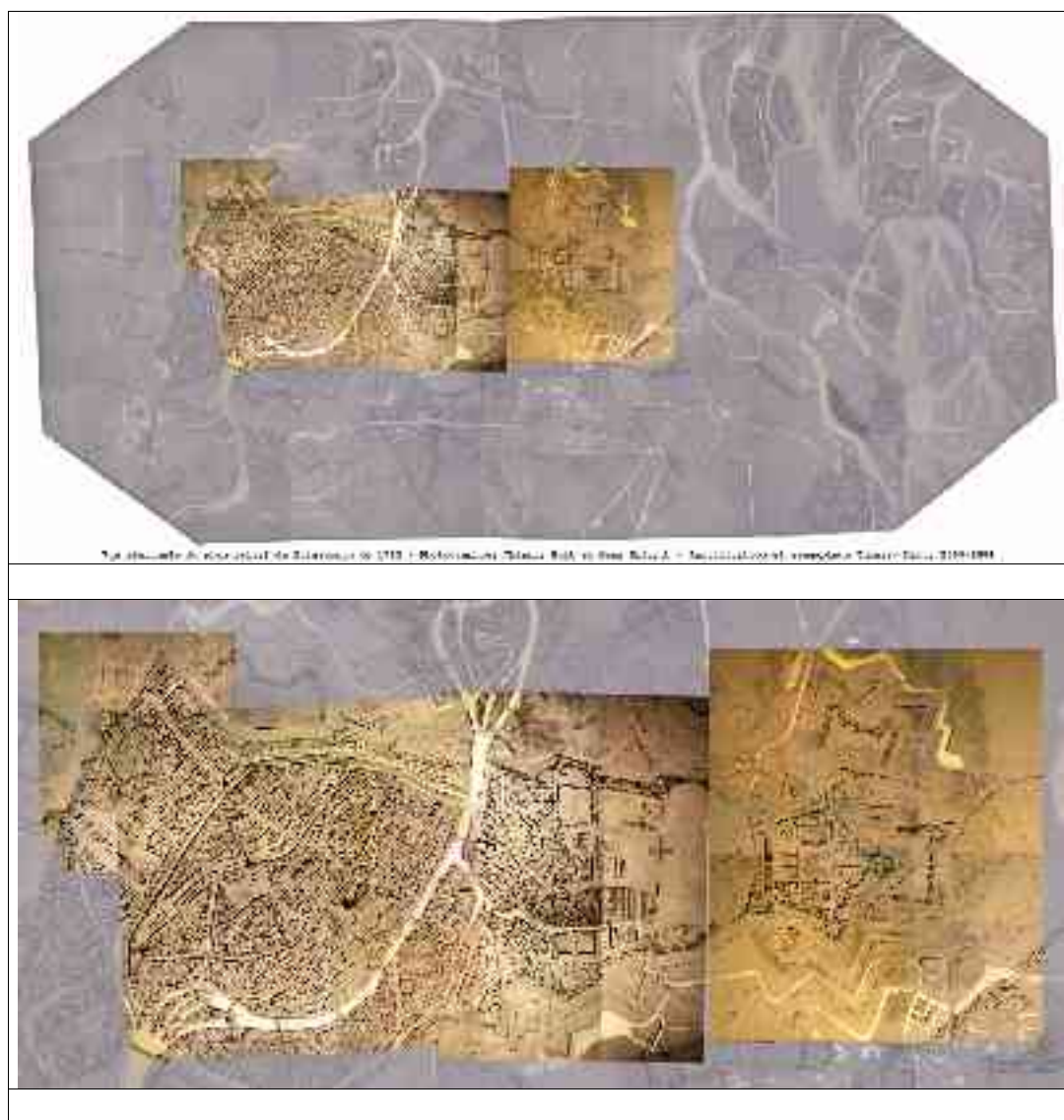
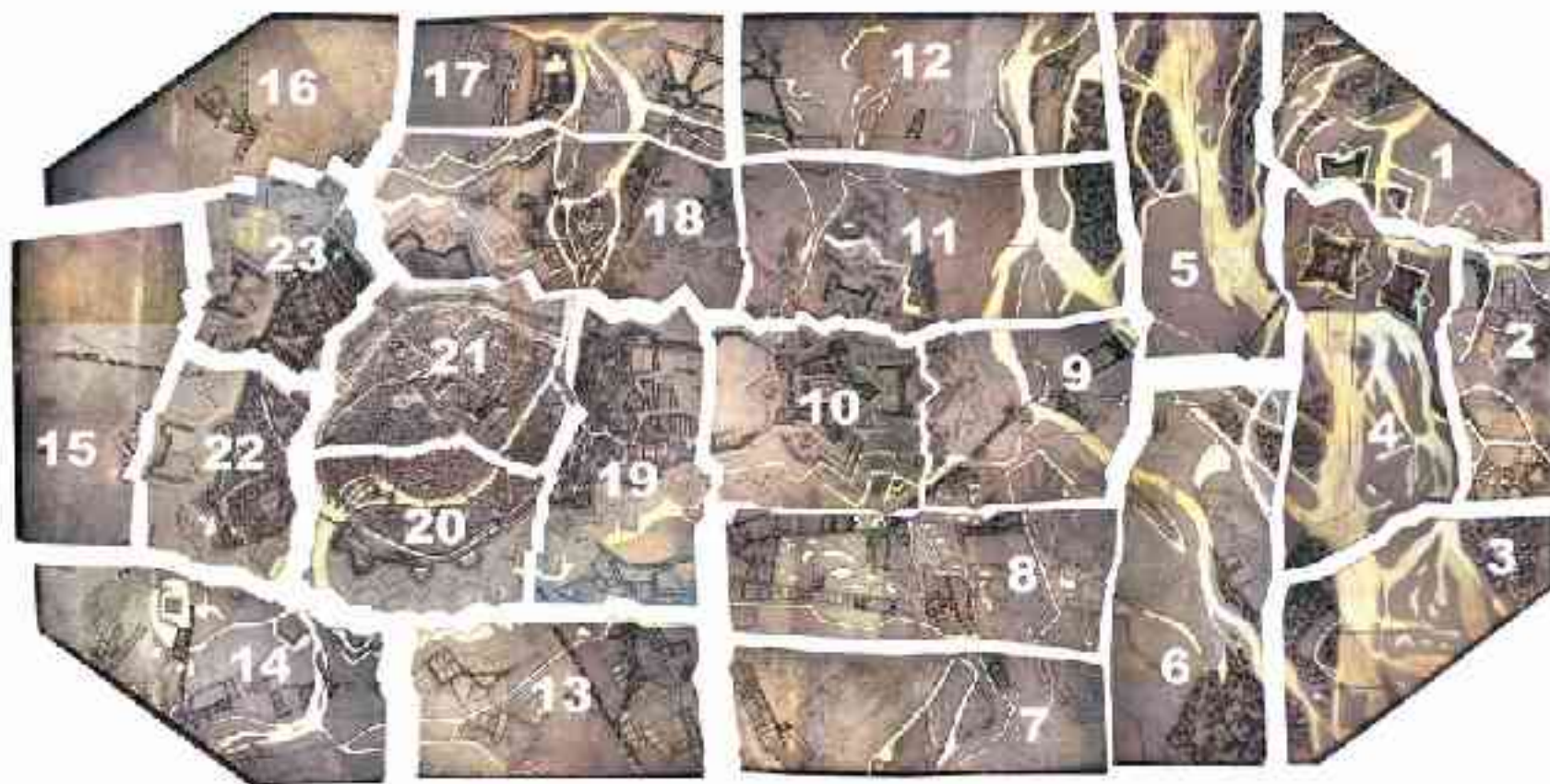


Figure 10, en haut, vue d'ensemble des vues zénithales, campagne de juin 2002, sur le plan encore en place

Figure 11, en bas, agrandissement des vues zénithales, campagne de juin 2002



Vue schématique du plan relief de Strasbourg de 1739 - Photographes Thierry Bait et Jean Refinck - Rectification et assemblage Thierry Bait. 2061-2004

Figure 12, position relative des tables avec leur numéro

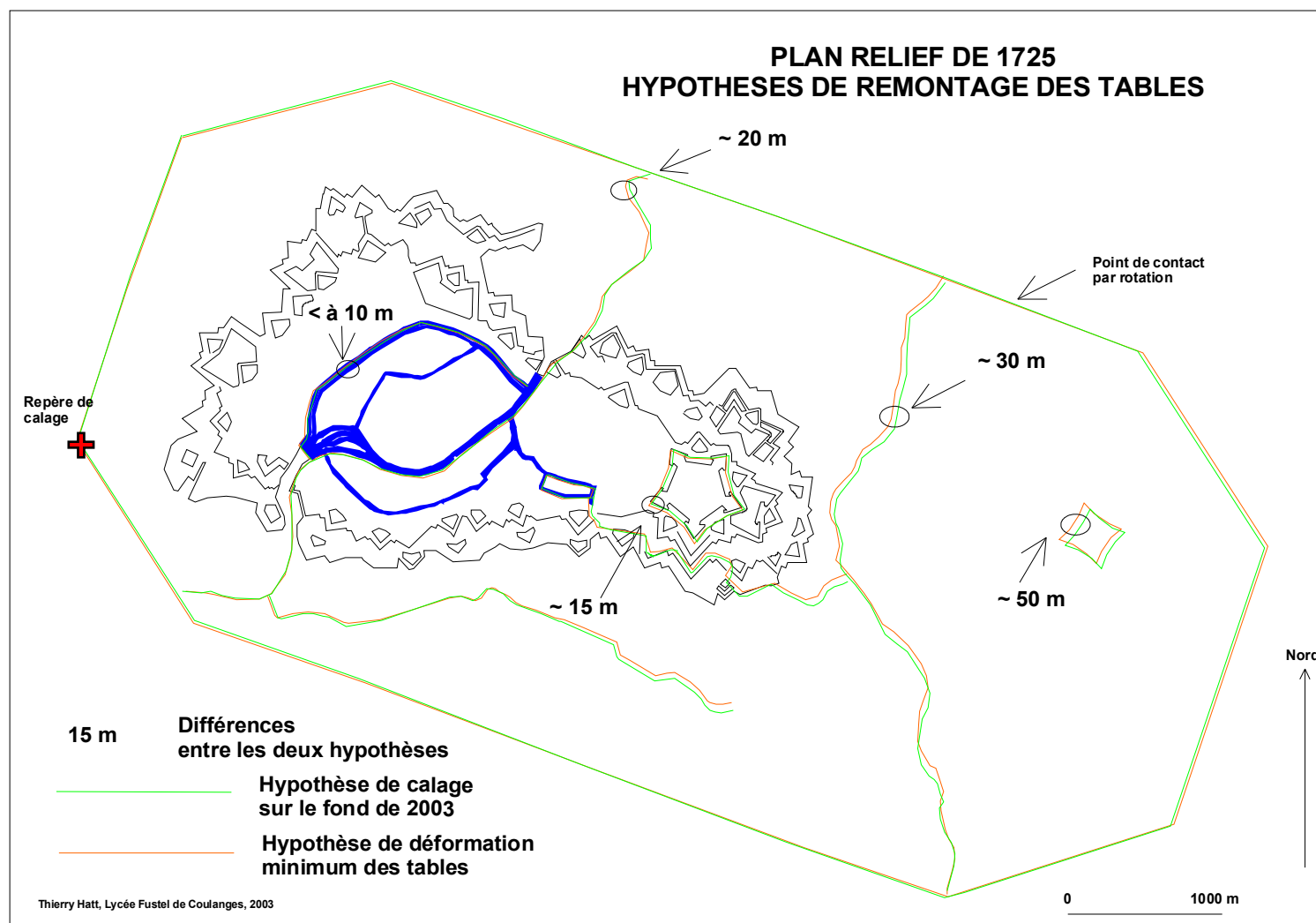


Figure 13, comparaison des résultats d'assemblage des tables selon diverses hypothèses, sur fond IGN, coordonnées GPS

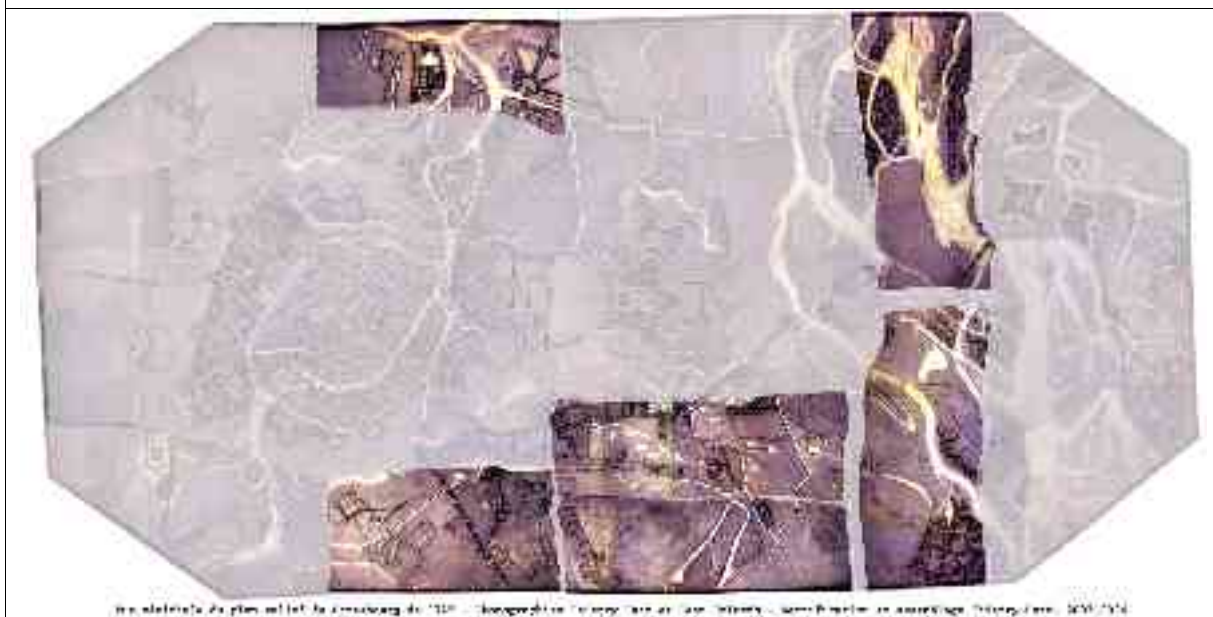


Figure 14, en haut, tables modifiées en cherchant à minimiser les déformations, grandes tables associées d'abord

Figure 15, en bas, tables modifiées dans le cas de l'assemblage réalisé à partir du calage de l'ellipse, de l'esplanade et de la citadelle, campagne de juin 2002

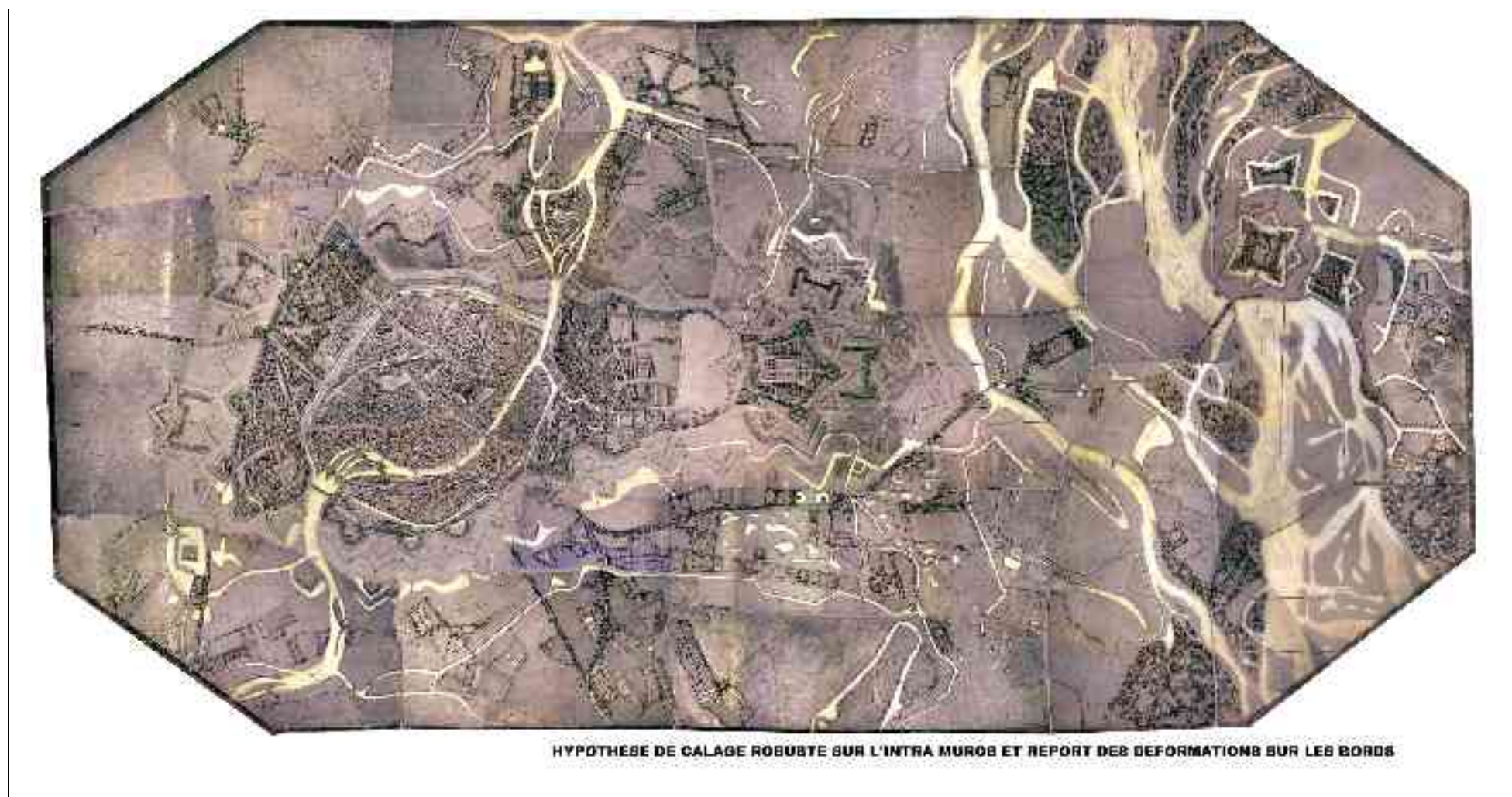


Figure 16, assemblage final des vues zénithales des 23 tables, hypothèse du calage sur le fond de juin 2002

PLAN RELIEF DE STRASBOURG EN 1725, GEO-RECTIFIE SUR FOND IGN



Photographie numérique, Jean Erfurth, Thierry Hatt, assemblage et rectification, Thierry Hatt, 2002-2004

0 1000 2000 m

Fond Ign 2000, coordonnées UTM WGS 84

Figure 17, assemblage final des vues zénithales des 23 tables, hypothèse du calage sur le fond de juin 2002, image géo-rectifiée sur fond IGN UTM WGS 84

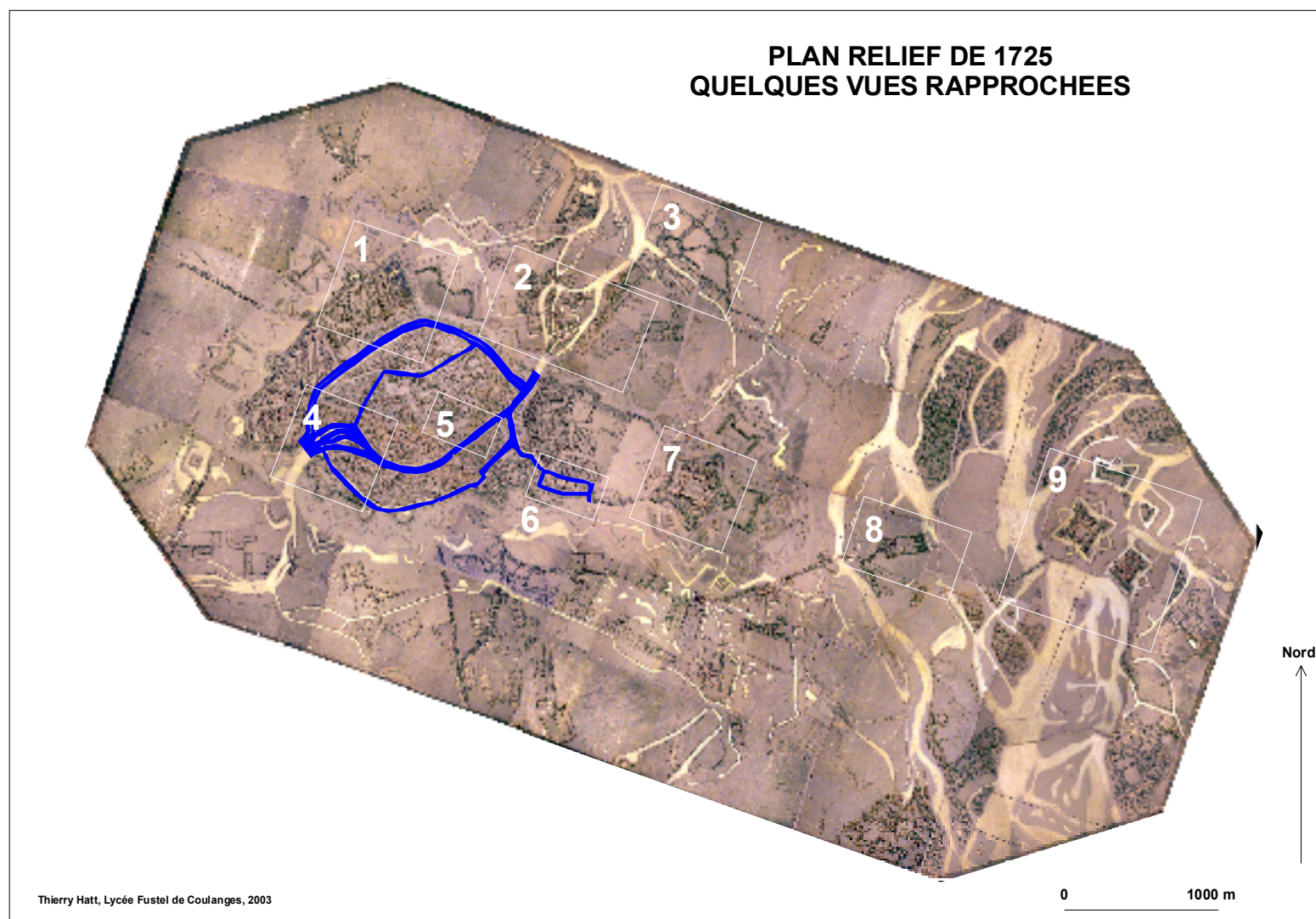


Figure 18, place des vues rapprochées sur le plan géo-rectifié



Figure 19, Marais Vert et faubourg de Pierre



Figure 20, Porte des Pêcheurs, Ill et AAr au Nord de la Ville



Figure 21?, Orangerie et chantier naval



Figure 22, Ponts Couverts et Grand Rue



Figure 23, Cathédrale et Musée Historique



Figure 24, hôpital militaire Vauban



Figure 25, la citadelle



Figure 26, une propriété avec un des seuls jardin à la française sur la route du Rhin



Figure 27, le fort de Kehl

VI. Table des figures

<i>Figure 1, tables du plan après démontage, en attente.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 2, à gauche, échafaudage pour la photographie zénithale des tables.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 3, à droite, montage de l'appareil photographique numérique Olympus E10.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 4, dispositif pour la photographie aérienne en juin 2002, le plan n'est pas encore démonté.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 5, à gauche, images brutes de la table 21, avant traitement des couleurs et détourage.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 6, à droite, recouvrements nécessaires de 20 à 30 % entre images.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 7, images avant et après détourage et traitement des couleurs.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 8, impact des corrections des distorsions optiques liées à l'objectif.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 9, Zoom sur la table 18, avec tracé des indicateurs horizontaux et verticaux avant – en noir - et après – en rouge - correction des distorsions de l'optique.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 10, en haut, vue d'ensemble des vues zénithales, campagne de juin 2002, sur le plan encore en place.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 11, en bas, agrandissement des vues zénithales, campagne de juin 2002.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 12, position relative des tables avec leur numéro.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 13, comparaison des résultats d'assemblage des tables selon diverses hypothèses, sur fond IGN, coordonnées GPS.....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 14, en haut, tables modifiées en cherchant à minimiser les déformations, grandes tables associées d'abord.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 15, en bas, tables modifiées dans le cas de l'assemblage réalisé à partir du calage de l'ellipse, de l'esplanade et de la citadelle, campagne de juin 2002.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 16, assemblage final des vues zénithales des 23 tables, hypothèse du calage sur le fond de juin 2002.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 17, assemblage final des vues zénithales des 23 tables, hypothèse du calage sur le fond de juin 2002, image géo-rectifiée sur fond IGN UTM WGS 84.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 18, place des vues rapprochées sur le plan géo-rectifié.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 19, Marais Vert et faubourg de Pierre.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 20, Porte des Pêcheurs, Ill et AAr au Nord de la Ville.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 21?, Orangerie et chantier naval.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 22, Ponts Couverts et Grand Rue.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 23, Cathédrale et Musée Historique.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 24, hôpital militaire Vauban.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 25, la citadelle.....</i>	<i>22</i>

<i>Figure 26, une propriété avec un des seuls jardin à la française sur la route du Rhin</i>	22
<i>Figure 27, le fort de Kehl.....</i>	23