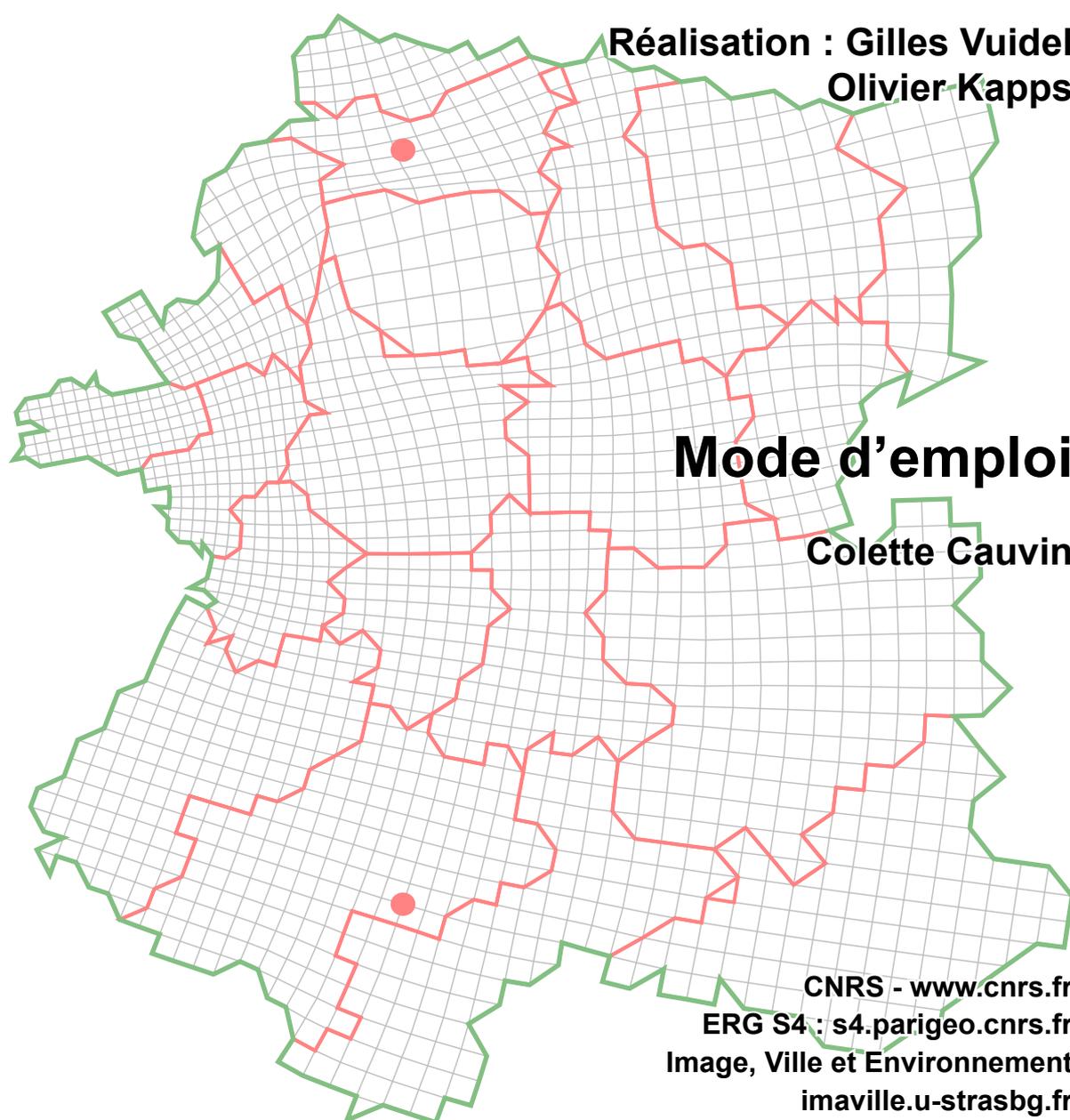


Logiciel de carte piézoplèthe (famille des cartogrammes)

Anaplaste 2.0

Conception : Charles Schneider

Réalisation : Gilles Vuidel
Olivier Kapps



Paris, Besançon, Strasbourg

2011

Introduction

Le logiciel Anaplaste permet de produire des cartes piézoplèthes¹, cartes dont la conception, établie entre 1977 et 1979, revient à C. Schneider [Rimbert et al., 1979]. Ce mode inhabituel de représentation appartient à la famille des transformations cartographiques de position, et plus précisément aux transformations thématiques de poids² [Cauvin, 1998]. Son principe a été exposé dans plusieurs articles et ouvrages depuis 1979 [Cauvin, Schneider, 1989 ; Cauvin et al., 2008].

Sans entrer dans le détail pour ce mode d'emploi, précisons que les cartes piézoplèthes expriment les valeurs d'une variable thématique donnée $[Z]$ par une dilatation ou une contraction des surfaces géographiques associées $[XY]$ et non par une variation sémiotique (dégradée de gris, de couleurs). Localisations et valeurs thématiques sont intégrées, combinées, induisant une transformation de l'espace $[XY]$ en fonction des valeurs de $[Z]$. Le procédé conduit à une représentation privilégiant sur le plan visuel ce que le lecteur perçoit le mieux : *les différences de surfaces, et, par voie de conséquence, les formes globales*. Sous certaines conditions, l'image obtenue peut être considérée comme un modèle.

Cette méthode repose, en effet, sur un modèle physique, adapté à la cartographie, utilisé en génie civil pour étudier la résistance des matériaux par le calcul de structures avec résolution par la méthode des éléments finis. Il s'agit d'un transfert de modèle de type analogique où l'espace géographique, assimilé à une surface physique et décomposé en éléments finis, est déformé sous l'action des valeurs d'une variable thématique considérées comme des charges, des forces, des

¹ Terme introduit par C. Schneider pour qualifier les cartes obtenues par un procédé permettant de montrer les forces exercées en chaque point d'une surface. Sa construction est similaire à celle des termes « choroplèthe » ou « isoplèthe », « πιεζω » (pièzo) signifiant en grec « force, pression » et « πληθος » (pléthos) grande quantité.

² Connues également, pour une partie d'entre elles, sous le nom de « cartogrammes ».

pressions appliquées sur cette surface. Les différentes étapes de la procédure sont présentées dans la figure 1 et déterminent les principales parties de ce mode d'emploi.

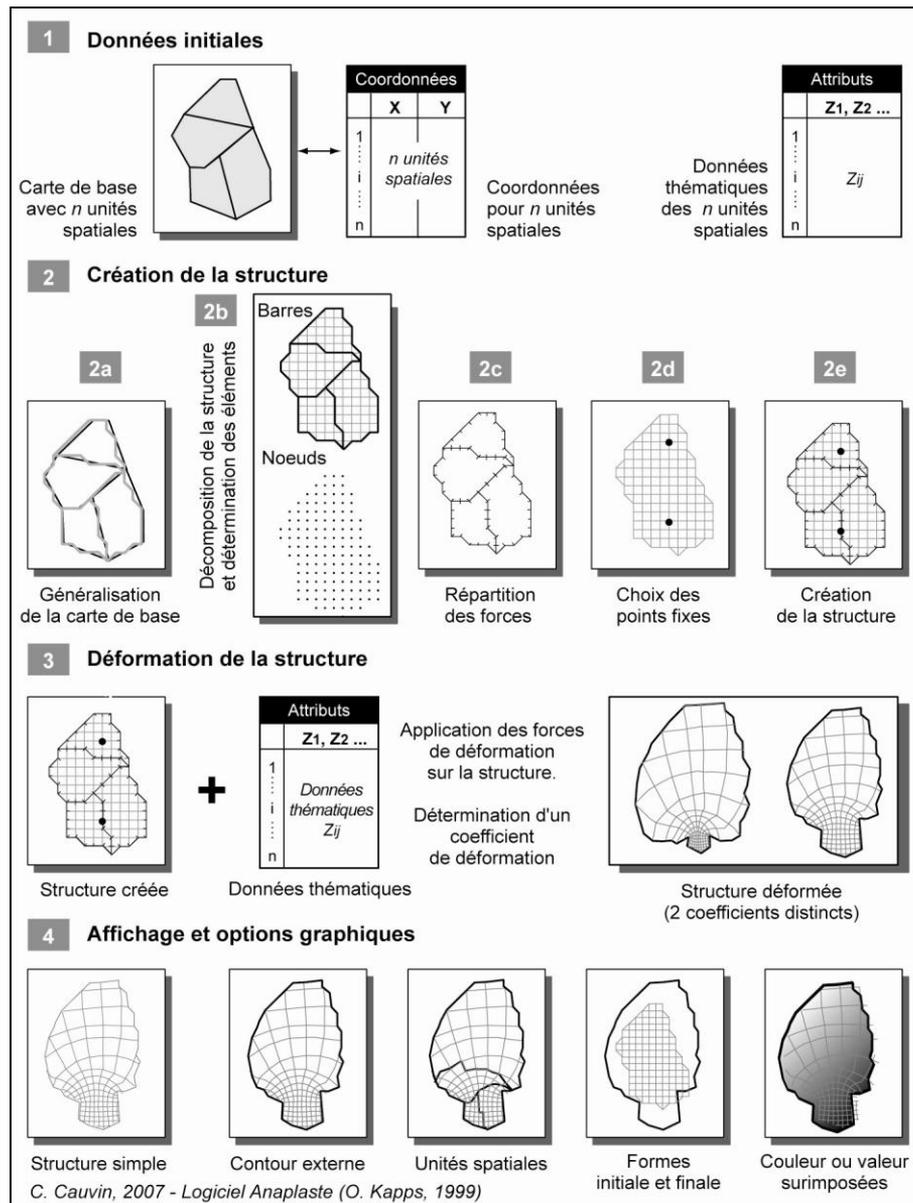


Figure 1. Étapes de la procédure Anaplaste

Le logiciel Anaplaste a été écrit en C++, pour une plateforme Macintosh, par Olivier Kapps, en 1999 ; il s'appuie sur un programme, dénommé Struct, conçu et développé initialement en FORTRAN, avec sortie sur traceur Benson, par G. Cherrier et J. Hirsch en 1979. En 2008, O. Kapps a réécrit l'algorithme de calcul, toujours en C++, afin qu'il soit utilisable sur d'autres plateformes. Entre 2008 et 2010, G. Vuidel l'a transcrit en Java et a développé l'ensemble du programme dans ce langage. Ce programme peut désormais fonctionner tant sur PC (Windows XP, Vista, Linux) que

MacIntosh (à partir de MacOS X). La seule contrainte est de disposer d'une plateforme Java (version 1.5 ou ultérieure). Java est gratuit et peut être téléchargé sur le site <http://www.java.com/fr/>. Après avoir installé Java si nécessaire, il faut télécharger Anaplaste sur le web, à l'adresse <http://spatial-modelling.info/-Spatial-analysis-tools-> ; son utilisation est libre de droit excepté pour une utilisation commerciale.

1.

Préparation et lecture des données

Les données à entrer comprennent les coordonnées des n unités spatiales, *unités nécessairement surfaciques*, composant l'espace étudié ainsi que les variables thématiques associées, *nécessairement quantitatives*. Elles peuvent être ou préparées dans un logiciel quelconque, tel un tableur ou un éditeur de texte, ou provenir d'un SIG (Système d'Information Géographique) comme ArcGIS, gySIG ou QGIS. Elles sont lues directement lors du lancement du logiciel Anaplaste.

1.1. Préparation des données [XY]

Les données [XY] peuvent être préparées de deux manières distinctes :

- selon un procédé spécifique avec enregistrement au format texte *.txt* ;
- dans un SIG avec enregistrement au format *.shp* (ESRI *shapefile*).

Nous allons exposer de manière détaillée la préparation des données avec un tableur et nous compléterons avec les indications nécessaires pour utiliser des données au format *shapefile* (*shp*) associé au logiciel ArcGIS,

1.1.1. Préparation des données [XY] en format texte

Chaque unité spatiale surfacique est déterminée par une série de coordonnées [XY] se présentant toutes d'une manière identique. Chaque ligne comprend une coordonnée X et une coordonnée Y, séparées par des blancs ou des tabulations, définissant la position d'un point/lieu de l'unité. La décimale est caractérisée par un point ; s'il n'y a pas de décimale, le nombre peut ou non être suivi d'un point.

<i>Exemple</i>	2.15	ou	2.6
	2.	ou	2

Le commencement d'une entité est annoncé par une accolade ouverte vers la droite « { » et sa fin par une accolade tournée vers la gauche « } ». Les unités se succèdent ainsi les unes derrière les autres dans un ordre préalablement défini. Ces coordonnées sont enregistrées en mode texte (*.txt*) et stockées dans un fichier dont la première ligne indique le nombre d'entités du fond géographique de la manière suivante :

- un # en colonne 1, suivi immédiatement, sans espace, du mot « unité » (sans accent et sans s à la fin) ;

– le nombre d’entités du fond de carte, indiqué comme un nombre entier et séparé du mot « unite » par un ou plusieurs espace(s).

Exemple

#unite 12

Les entités annoncées, séparées par les accolades ouvertes et fermées, suivent la ligne titre. Le nombre d’ensembles [accolade ouverte, coordonnées [XY], accolade fermée] doit être égal au nombre d’entités annoncé dans la ligne titre. Le fichier de données se présente donc de la manière suivante (figure 2) :

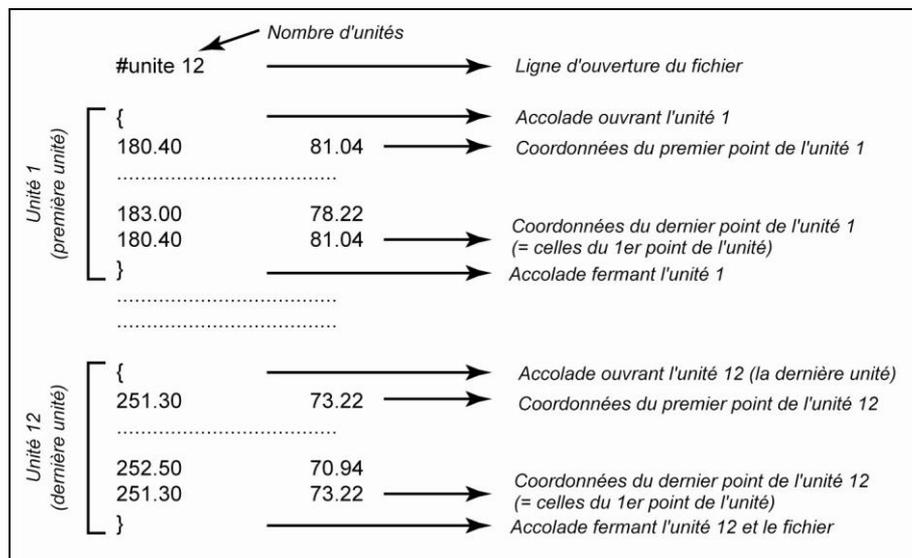


Figure 2. Fichier texte contenant les données [XY]

1.1.2. Données [XY] provenant d’un SIG

Lorsque les données [XY] proviennent d’un SIG, des fichiers *.shp* (*shapefile*) peuvent être utilisés pour exprimer les coordonnées [XY] des points des entités, mais il est impératif que les valeurs attributaires soient intégrées dans la table (*.dbf*) du fichier du fond de carte. Elles se lisent directement comme nous le verrons dans le paragraphe 1.3.

1.2. Préparation des attributs thématiques [Z]

Les données thématiques (*variables quantitatives*, non exprimées, de préférence, en valeurs absolues) peuvent être préparées dans un fichier texte ou provenir d’un SIG, comme indiqué ci-dessus. Elles sont stockées dans un fichier unique ; plusieurs variables [Z] peuvent donc se trouver dans ce fichier, le choix de la variable à traiter étant indiqué ultérieurement, lors du traitement intitulé « Déformer ».

Dans un fichier texte, les données [Z] comprennent les lignes suivantes (figure 3) :

– la première ligne³ commence par le terme « Variable », suivi d’un espace et du nombre de variables à lire ;

³ Dans une version antérieure du logiciel, cette ligne était précédée de deux lignes présentées comme suit : la première ligne commençait par le terme « Select » suivi d’un espace ou d’une tabulation, et ensuite du numéro

*Exemple pour 6 variables**Variable 6*

- la deuxième ligne est vierge (de préférence) ;
- la troisième ligne contient une accolade ouverte vers la droite en colonne 1. Elle annonce la liste des noms des variables ;
- les lignes suivantes correspondent au nom des variables. Chaque nom est écrit sur une ligne distincte ;
- la ligne immédiatement après le nom de la dernière variable contient une accolade fermée vers la gauche en colonne 1. Elle signale la fin de la liste des noms des variables.

Exemple

```
{
nom variable 1
.....
nom variable k
}
```

- la ligne suivante est vierge (de préférence)
- la ligne suivante annonce le nombre d'unités spatiales, c'est-à-dire le nombre de valeurs pour chaque variable, précédé par le terme « Data » écrit à partir de la colonne 1 et suivi d'un ou de plusieurs espace(s) ou d'une tabulation ;

Exemple pour 12 unités Data 12

- la ligne suivante annonce par une accolade ouverte vers la droite « { », en colonne 1, le début du tableau des valeurs des variables ;
- les lignes suivantes contiennent les valeurs des variables séparées par une tabulation ; une ligne comprend une valeur pour chaque variable, c'est-à-dire les attributs thématiques d'une entité. Les décimales sont signalées par des points comme précisé dans le paragraphe concernant les données [XY] (§1.1.1). Il est indispensable que le nombre de lignes contenant des valeurs soit égal au nombre d'entités indiqué sur la ligne commençant par « Data » et que le nombre de valeurs par ligne soit égal au nombre de variables précisé dans la ligne commençant par « Variable ».

Exemple

```
{
12.1 5.2 8.3 .....
.....
15.2 4.3 7.6 .....
}
```

- la dernière ligne comprend seulement une accolade fermée vers la gauche « } », annonçant la fin des données thématiques.

Un fichier de données thématiques [Z] se présente donc comme indiqué dans la figure 3 et doit être sauvegardé en mode texte.

de la variable [Z] à prendre en compte. La deuxième ligne était vierge. Ces deux lignes ne sont plus nécessaires, mais des fichiers préparés de cette manière peuvent encore être utilisés et lus par le programme sans que leur suppression soit indispensable. Les indications qu'ils fournissent n'auront, cependant, aucune incidence sur le choix de la variable traitée.

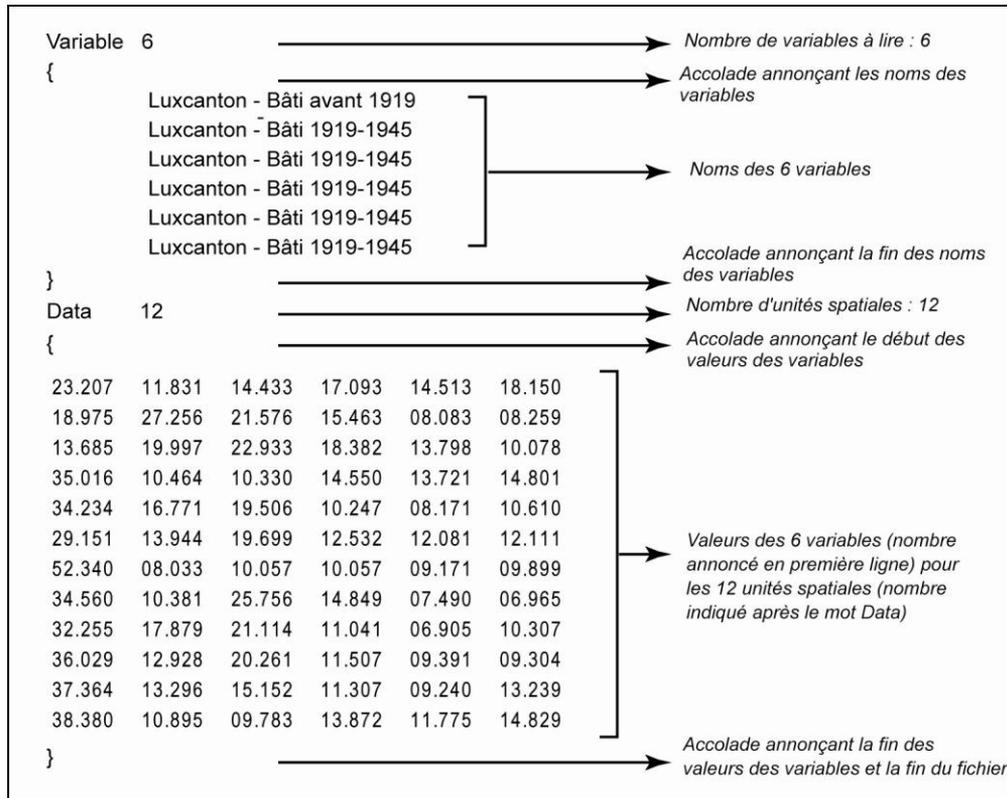


Figure 3. Fichier texte contenant les thématiques [Z]

Les données [Z] peuvent également être préparées dans ArcGis (ou dans un logiciel de SIG équivalent). Elles doivent alors être nécessairement intégrées au fichier de données [XY] décrivant le fond de carte, comme indiqué dans le paragraphe 1.1.2.

1.3. Lecture des données

Les données se lisent directement avec le logiciel Anaplaste. Pour ce faire, lancer l'application Anaplaste en cliquant sur son icône.

1.3.1. Lecture des données proprement dite

Une fenêtre s'affiche avec une barre de menus comprenant deux lignes (figure 4) :

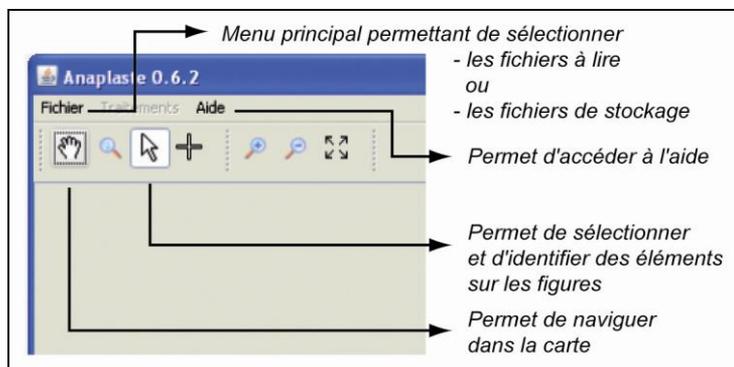


Figure 4. Barre de menu principale

– la première est formée de 2 menus actifs : *Fichier* et *Aide* ;

– la seconde comprend les icônes qui sont toujours présentes lors de l'utilisation du logiciel comme la sélection des options ou celle des éléments sur les figures lorsque ces dernières s'affichent.

Dérouler le menu *Fichier* et sélectionner l'option *Charger données* (figure 5).

Une nouvelle fenêtre (figure 6) s'affiche visualisant les catégories de fichiers à ouvrir : fichier des coordonnées des entités spatiales du fond de carte et fichier des variables thématiques associées. Sélectionner successivement les différents fichiers. Attention ! L'ordre des entités et celui des variables thématiques doivent être identiques.

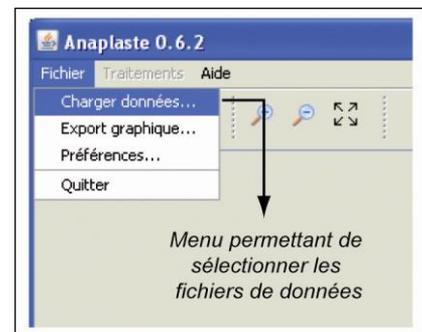


Figure 5. Appel des données

Pour les fichiers provenant d'un SIG de type *shapefile (.shp)*, il suffit de lire le fichier du fond de carte, celui des données thématiques (*.dbf*) étant automatiquement associé.

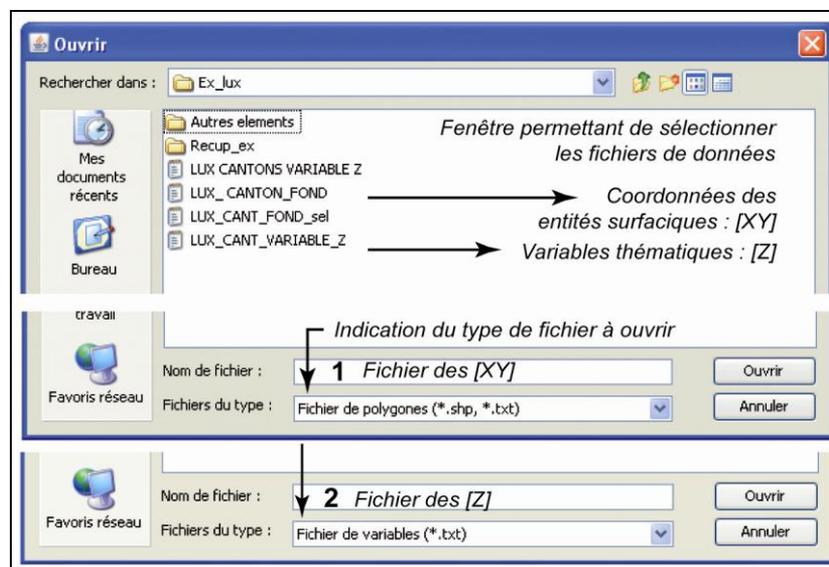


Figure 6. Fenêtre de sélection des données

1.3.2. Affichages

Une fois les fichiers sélectionnés, une fenêtre s'affiche avec trois parties distinctes (figure 7) :

- la barre de menus qui comprend deux lignes :
 - la première ligne affiche les deux menus déroulants déjà décrits (*Fichier* et *Aide*) ainsi que le menu *Traitements* qui devient actif ;
 - la seconde ligne présente des icônes usuelles (main, flèche, zoom) ainsi que des icônes spécifiques :
 - = un croisillon interrompu permettant de revenir à la vue d'ensemble, et le bouton *Couches* d'afficher ou de cacher la partie gauche de la fenêtre où s'affichent les différentes couches,
 - = une croix ; elle devient active avec l'option *Points Fixes* du menu *Traitement* et permet de sélectionner directement sur la carte les points fixes choisis.

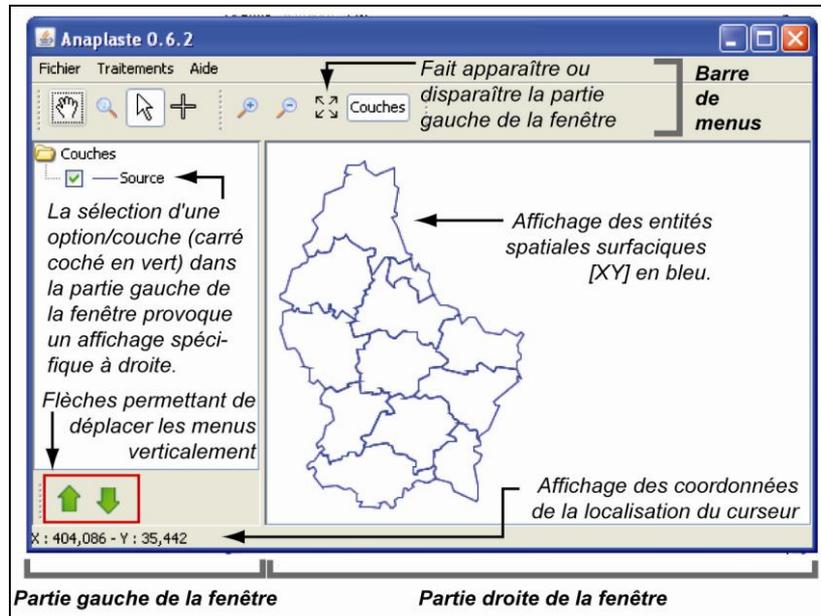


Figure 7. Affichage des éléments lus et sélectionnés

– la partie gauche où sont indiqués les éléments affichés ou affichables dans la partie droite de la fenêtre. De manière générale, l’affichage de la représentation (partie droite de la fenêtre) est géré par la case à cocher (ou à décocher) devant le nom de la couche concernée (partie gauche de la fenêtre). La partie gauche se modifie donc après chaque traitement en fonction des couches créées.

- Une fois les données chargées, le carré précédant le mot *Source* permet, s’il est coché (paramètre par défaut), de faire apparaître la carte dans la partie droite, ou, dans le cas contraire, de laisser la fenêtre vide (figure 7) ;

- Avec le clic droit de la souris appliqué sur le mot *Source*, un menu contextuel apparaît (figures 8 et 9) avec plusieurs options qui permettent de procéder à différentes opérations :

= *Style* permet de modifier la symbologie (figure 8 **b, c**) (couleur, opacité et épaisseur du contour) en sélectionnant l’onglet *Symbole*, et d’afficher les valeurs de la variable thématique de chaque entité (figure 8 **d**) en optant pour l’onglet *Etiquettes*.

= *Export* permet d’exporter la figure en format *shapefile* (.shp) ou en mode texte (.txt) (figure 8 **e**).

= *Statistics* ouvre sur deux autres options (figure 9 **a, b**) : *Scatter plot* et *Histogram*. *Scatter plot* (figure 9 **c**) permet de construire un graphique de dispersion avec, par exemple, deux des variables thématiques stockées dans le fichier des attributs. Cette option est à utiliser lorsque deux variables (ou deux résultats, selon la couche concernée) sont à croiser. *Histogram* (figure 9 **d**) permet de produire un histogramme d’une des variables thématiques (ou d’un des résultats).

= *Export Geometries* permet d’exporter les coordonnées des entités de la figure au format *Texte* avec un couple de coordonnées par ligne (figure 9 **e**).

Ces options du menu contextuel lié au clic droit de la souris sur une couche ou une autre sont, pour la plupart actives, pour toutes les couches créées.

- Les deux flèches vertes, situées en bas de la partie gauche de la fenêtre, permettent de faire monter ou descendre les couches qui s’affichent dans cette partie gauche de la fenêtre (figure 7).

- La paire de coordonnées affichées au bas de la fenêtre indique les positions successives du curseur (figure 7).

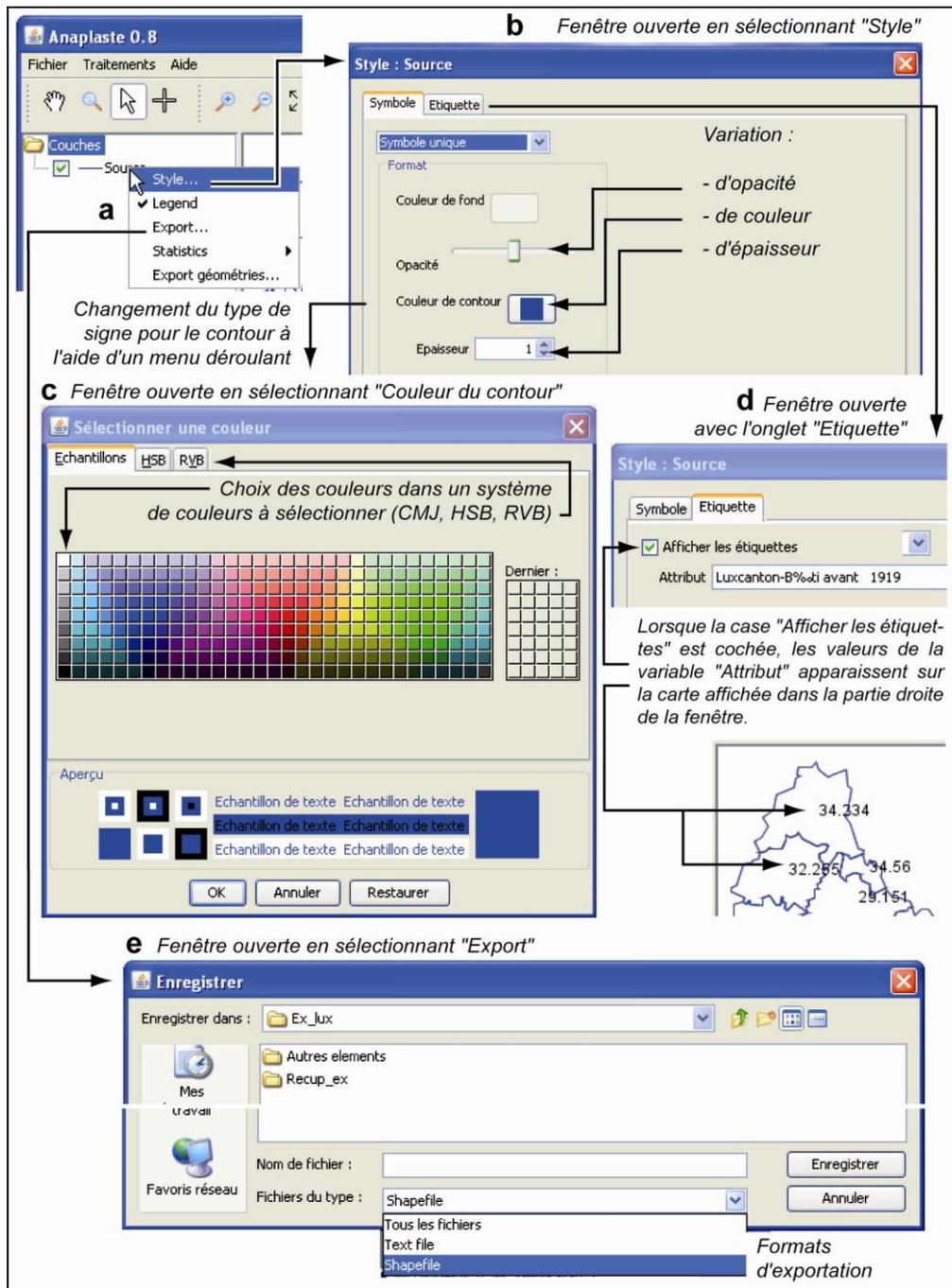


Figure 8. Options liées au clic droit de la souris (style, export)

– la partie droite où apparaissent les résultats graphiques. Par défaut, s'affiche en bleu le tracé des entités spatiales lues.

- La figure affichée peut être sauvegardée soit au format vectoriel SVG, soit au format bitmap PNG, en utilisant le menu *Fichier* et l'option *Export graphique* (figure 10).
- En cliquant sur une unité spatiale donnée de la carte, une nouvelle fenêtre s'affiche indiquant (figure 11) : le numéro de l'unité ainsi que les valeurs des différentes variables attachées à cette unité. En cliquant sur le bouton *Geometry* placé en bas de la fenêtre une seconde fenêtre apparaît contenant les coordonnées de ladite unité (ou polygone).

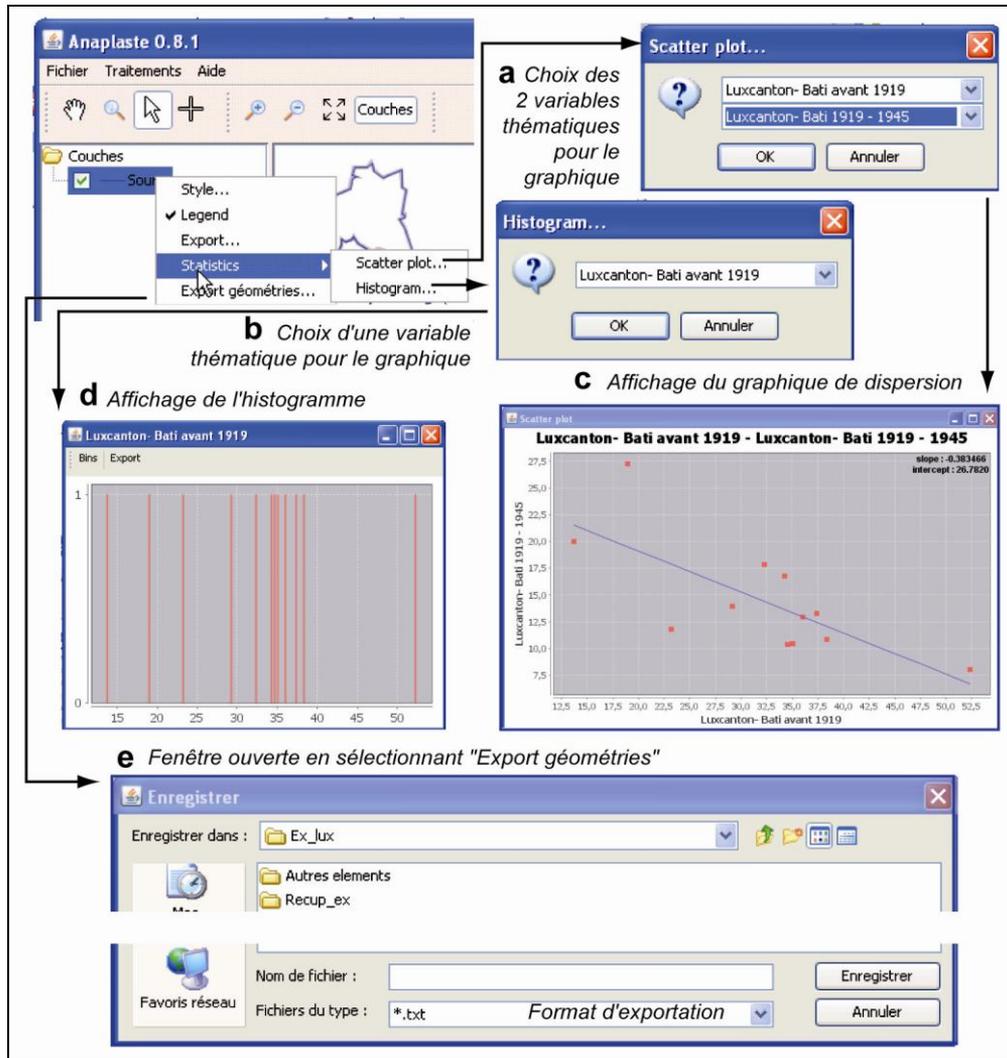


Figure 9. Options liées au clic droit de la souris (statistics, export géométries)

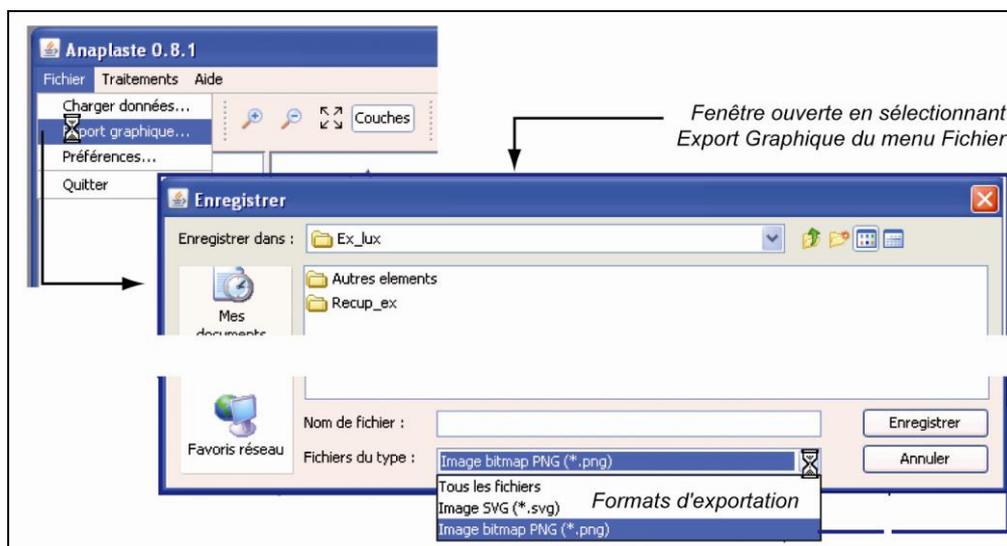


Figure 10. Exportation graphique

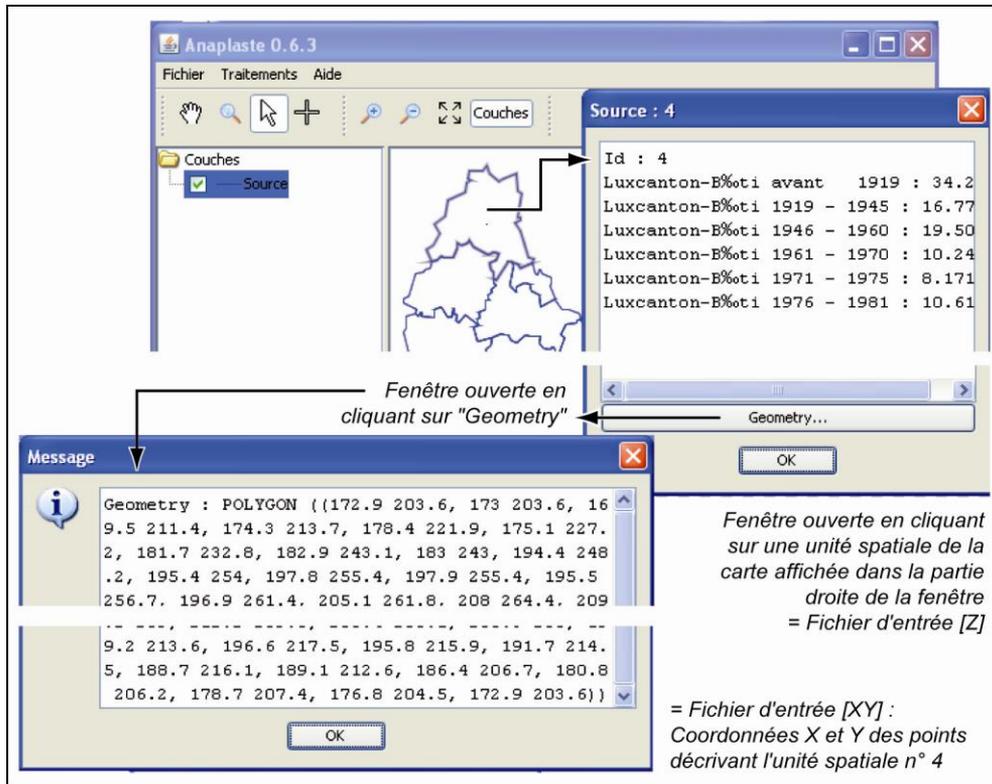


Figure 11. Informations sur la carte

Désormais, les choix concernant les transformations, les calculs et les tracés peuvent être effectués.

2.

Construction de la structure

La transformation du fond de carte (exprimant l'espace géographique) en une surface physique plane demande la construction d'une structure. Pour ce faire, plusieurs opérations sont nécessaires :

- la généralisation (ou simplification) du contour général et des entités spatiales ;
- le découpage de la surface en éléments finis ;
- le choix des points d'ancrage ou points fixes.

Les différentes étapes de la méthode et les choix associés sont indiqués à l'aide de menus successifs, en partant du menu *Traitements* de la barre de menus supérieure (figure 12). Seule la première étape *Simplification* est active dans un premier temps.

2.1. Généralisation des formes

L'opération de généralisation permet de simplifier les contours des entités, ce qui revient à définir la taille des éléments finis.

2.1.1. Commandes liées à la généralisation

Dans le menu *Traitements*, sélectionner l'option *Simplifier* (figure 12). Une nouvelle fenêtre s'affiche proposant deux paramètres pour l'opération de généralisation⁴ qui a pour but de transformer le fond en un ensemble de barres et de nœuds et de permettre la création de la structure.

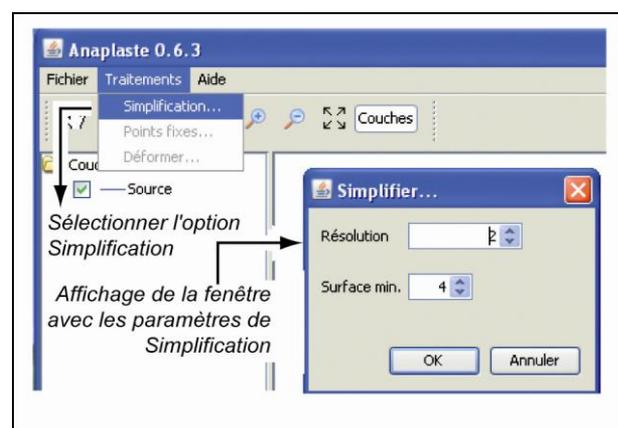
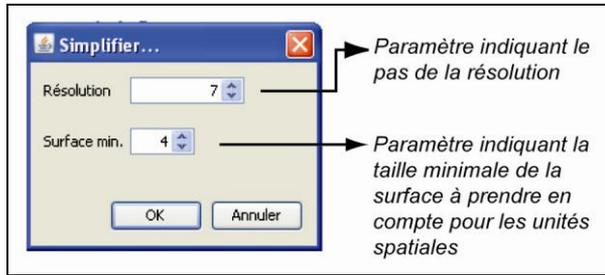


Figure 12. Option "simplification"

⁴ De manière générale, le processus de généralisation permet de réduire le temps de calcul et la taille des fichiers sans nuire pour autant à la compréhension des résultats.



La généralisation du fond de carte initial est automatique et s'effectue en tenant compte de la résolution choisie et de la taille minimum des éléments à prendre en compte. Les deux paramètres présents dans la fenêtre de simplification concernent ces choix (figure 13).

Figure 13. Paramètres de simplification

– La résolution de la simplification détermine la taille des éléments finis et s'exprime dans les unités de mesure du fond de carte. Plus le nombre indiqué dans la case *Résolution* est élevé, plus la résolution est grossière (figure 14). Ainsi, en **a** avec un pas de résolution égal à 1, la carte généralisée est très similaire à la carte originelle ; au contraire en **c**, la généralisation accentuée (pas = 20) aboutit à des entités aux formes très géométriques qui, pour certaines d'entre elles, ne ressemblent guère aux formes originelles.

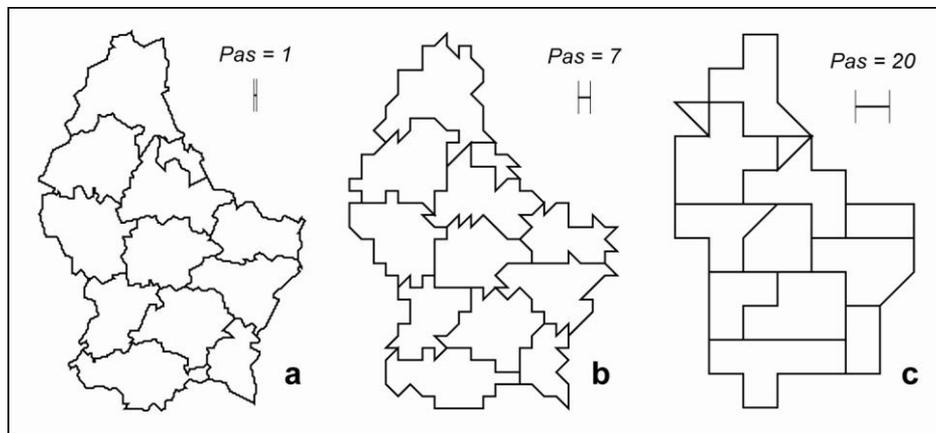


Figure 14. Variation de la résolution (exemple : Grand Duché du Luxembourg)

– L'option *Surface min.*, présente dans la même fenêtre, permet de supprimer de petits éléments extérieurs reliés seulement par un point au reste de la structure (figure 15). Si un tel élément a une surface inférieure à la surface minimale indiquée, il est éliminé, la surface étant exprimée en nombre de mailles dont la taille est liée à la résolution retenue. Dans ce cas, un message s'affiche dans une fenêtre indiquant cette suppression : « *Certain(s) polygone(s) ont disparu à la simplification* ».

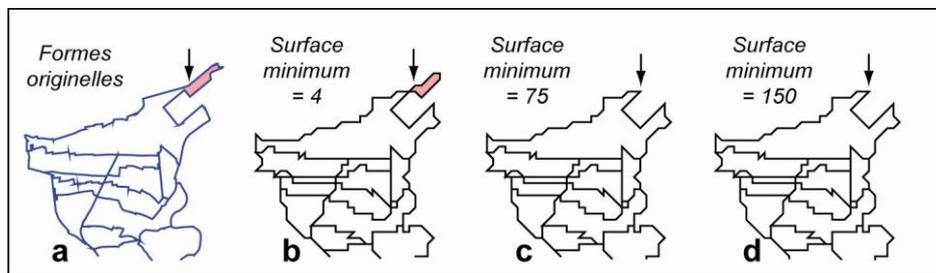


Figure 15. Variation de la surface minimum

Sur la figure 15, on voit que, selon la surface minimum indiquée dans l'option *Simplifier*, la pointe Nord-Est disparaît en **c** et **d** (unité colorée en **a** et **b**)⁵.

Une fois ces paramètres sélectionnés, une nouvelle carte s'affiche avec des limites plus ou moins géométriques selon le niveau de résolution.

2.1.2. Affichages résultants

Les affichages résultants s'inscrivent dans la partie droite de la fenêtre de base et comprennent la carte généralisée et les informations associées.

2.1.2.1. Résultats graphiques

Quatre résultats graphiques concernent l'affichage de la carte généralisée. Cet affichage est géré par le système de cases à cocher placées dans la partie gauche de la fenêtre (figure 16) comme indiqué dans le paragraphe 1.3.2. Chaque case cochée à gauche fait apparaître à droite l'élément correspondant ; chaque case décochée le fait disparaître.

En **a**, les couches *Fond*, *Contour* et *Bordures* sont sélectionnées ; apparaît l'affichage par défaut avec une couleur (vert) pour le fond de carte et pour le contour extérieur, et une autre (rouge) pour les limites des unités spatiales.

En **b**, *Bordures* et *Source* sont sélectionnées : les limites originelles (en bleu) sont superposées aux limites généralisées (en rouge) ; cette représentation permet de vérifier la validité de la simplification et la conservation des unités spatiales de base.

En **c**, la couche *Maillage* est cochée, associée à *Contour* : les limites extérieures de la carte généralisée sont matérialisées par la couleur verte et entourent un maillage en noir qui visualise une partie des éléments finis de la structure (cf. §2.2).

En **d**, toutes les couches à l'exception des limites originelles (*Source*), sont sélectionnées : toutes les limites (internes et externes), le fond de carte et le maillage apparaissent.

Toutes les combinaisons sont ainsi permises et choisies en fonction des besoins.

Les choix de visualisation sont modifiables pour chacune des couches, en utilisant le clic droit de la souris et en sélectionnant l'option *style*, de manière similaire à ce qui a déjà été expliqué dans le paragraphe 1.3.2, figure 8. Pour la couche *Bordures*, toutes les options décrites pour *Source* sont disponibles (figures 8 et 9).

2.1.2.2. Résultats numériques

Les résultats numériques concernent les coordonnées des différents éléments des figures et les valeurs thématiques associées ; ils peuvent être obtenus directement en cliquant sur la figure graphique ou indirectement en utilisant le clic droit de la souris sur une des options de la fenêtre de gauche.

⁵ L'exemple de la figure 15 porte sur une partie de la ville de Strasbourg dont les unités spatiales ont des dimensions très diverses, car, lorsque les unités ont des tailles similaires (c'est le cas des cantons du Luxembourg), le problème de la surface minimum ne se pose pas vraiment.

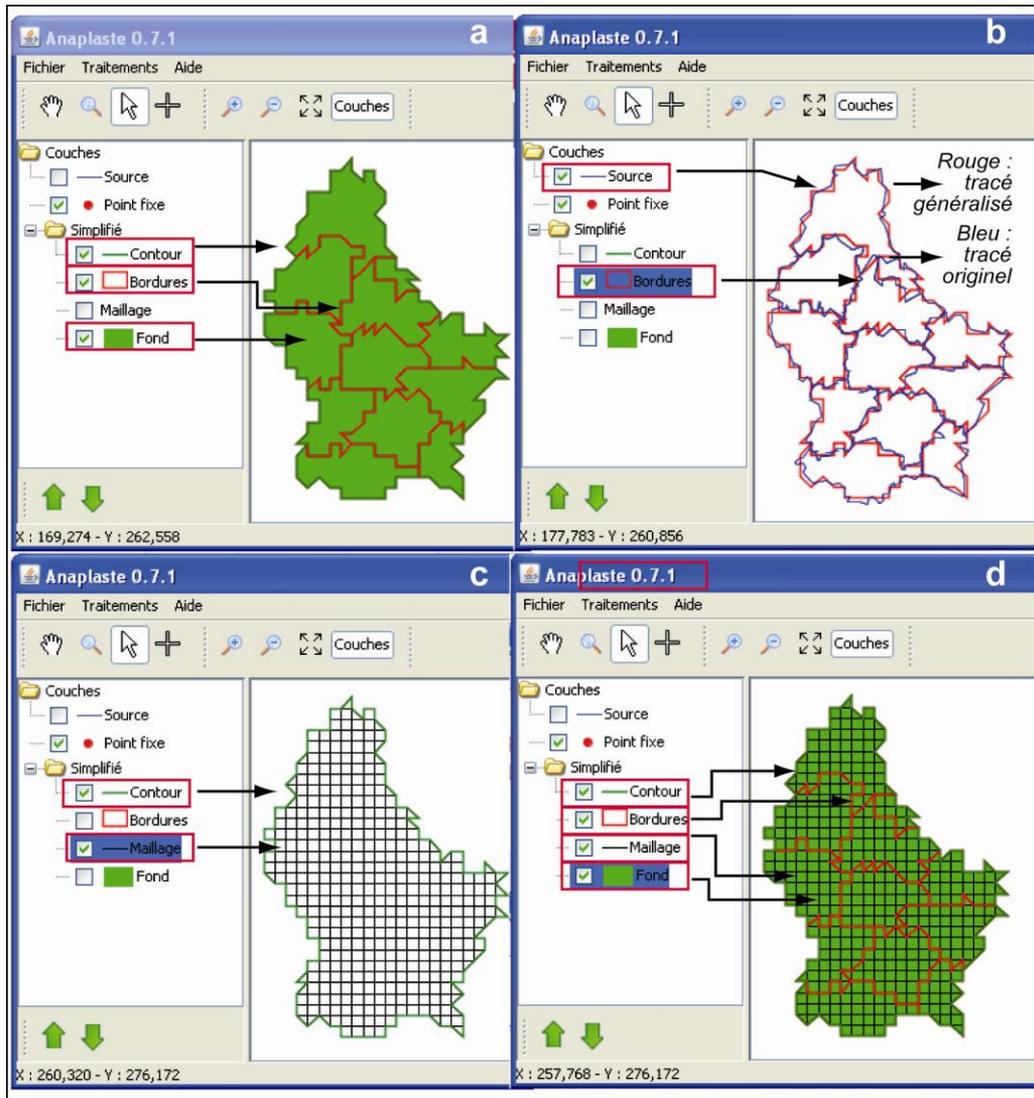


Figure 16. Affichage des résultats graphiques de l'ajustement

– En cliquant sur une unité spatiale donnée de la carte affichée, une première fenêtre apparaît indiquant : le numéro de l'unité ainsi que les valeurs des différentes variables $[Z]$ attachées à cette unité comme le montre la figure 17.

– En cliquant sur le bouton *Geometry* placé en bas de cette fenêtre, une seconde fenêtre apparaît contenant les coordonnées de ladite unité (ou polygone) généralisée. Les valeurs des coordonnées se succèdent selon le pas de résolution choisi (figure 17).

– En utilisant le clic droit sur les couches *Bordures* ou *Contour* dans la partie gauche de la fenêtre de base, on peut obtenir, stockées dans un fichier, les coordonnées des éléments correspondants, par exportation (cf. § 2.1.3)

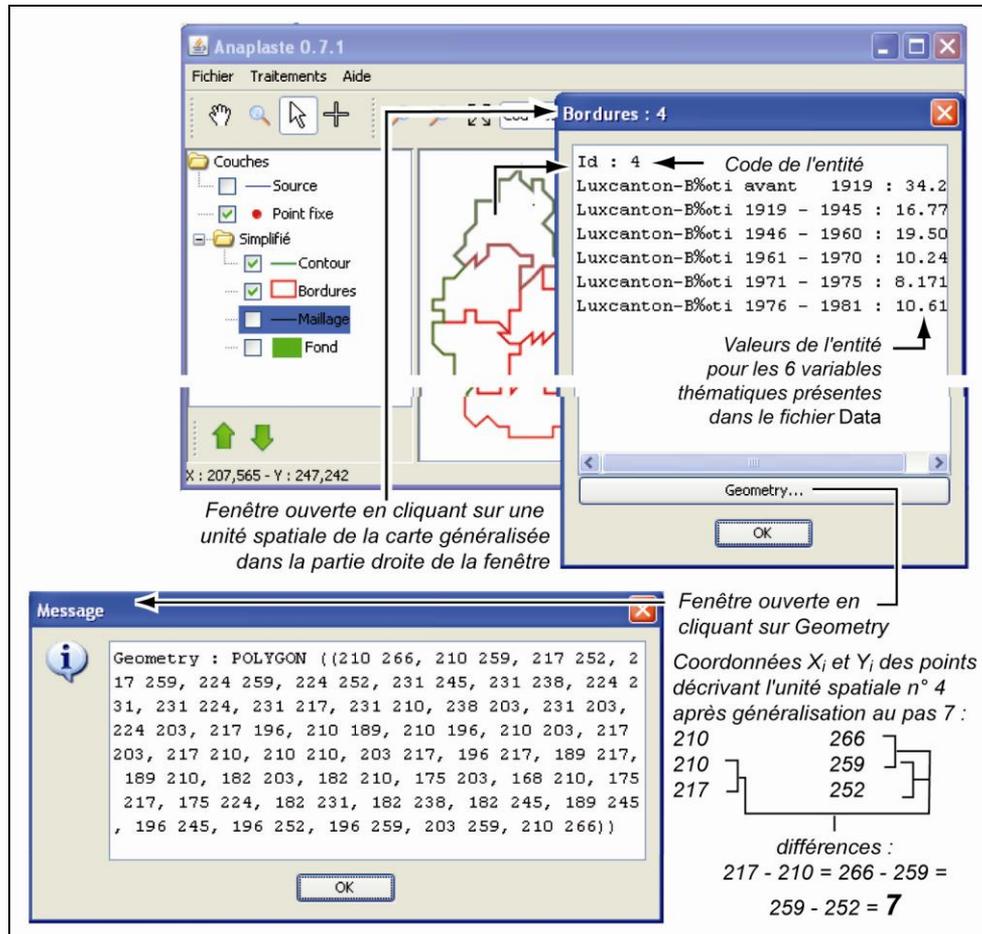


Figure 17. Affichage des résultats numériques

2.1.3. Sauvegarde des résultats

Les figures obtenues peuvent être sauvegardées de même que les résultats numériques, soit en faisant appel au menu *Fichier*, soit en utilisant le clic droit et les sous-options *Export* et *Export géométries*.

– La figure affichée peut être enregistrée au format SVG en utilisant le menu déroulant *Fichier* et l'option *Export graphique* (figure 18). Ce format est lisible entre autres par les versions récentes d'Adobe Illustrator et d'Inkscape, ce qui permet de procéder à une mise en page ultérieure, en fonction des besoins.

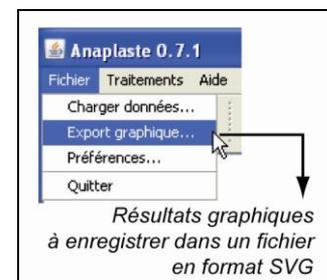


Figure 18. Export graphique

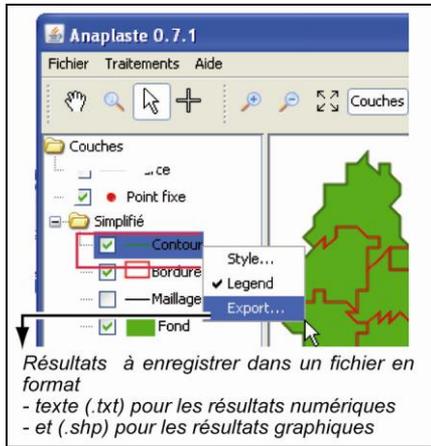


Figure 19. Exportation

– Les résultats peuvent également être exportés en utilisant le clic droit pointé sur l'élément à sauvegarder : *Bordure* ou *Contour* ; et en sélectionnant l'option *Export* dans le menu contextuel affiché (figure 19).

– La figure peut être alors sauvegardée sous forme d'un *shapefile (.shp)* ou comme une suite de coordonnées, en format *texte (.txt)*.

2.2. Mise en place de la structure

Une fois la généralisation effectuée, la mise en place de la structure est quasiment transparente pour l'utilisateur. Cette structure est formée d'éléments finis dont la taille est définie par la résolution de la généralisation ; elle est constituée de barres et de nœuds, les barres étant orientées horizontalement, verticalement et à 45° vers la droite ou vers la gauche. Dans ce logiciel, seul la couche *Maillage* permet la visualisation de cette structure. Il en constitue une image simplifiée car les diagonales des carrés (ou hypoténuses des triangles rectangles) ne sont tracées que si elles constituent un élément des limites des entités surfaciques.

Pour obtenir cette structure, cliquer sur la couche *Maillage* du menu *Simplifier* dans la partie gauche de la fenêtre : le maillage apparaît (figure 20). Il est possible d'en changer la couleur en utilisant le clic droit de la souris et en choisissant la sous-option *Style*. L'exportation associée au maillage fournit les coordonnées des extrémités des lignes (donc des nœuds extrêmes) et non celles des éléments finis : ceci est logique car le nombre d'éléments finis est rapidement très élevé et n'apporte rien à la connaissance du phénomène en tant que tel.

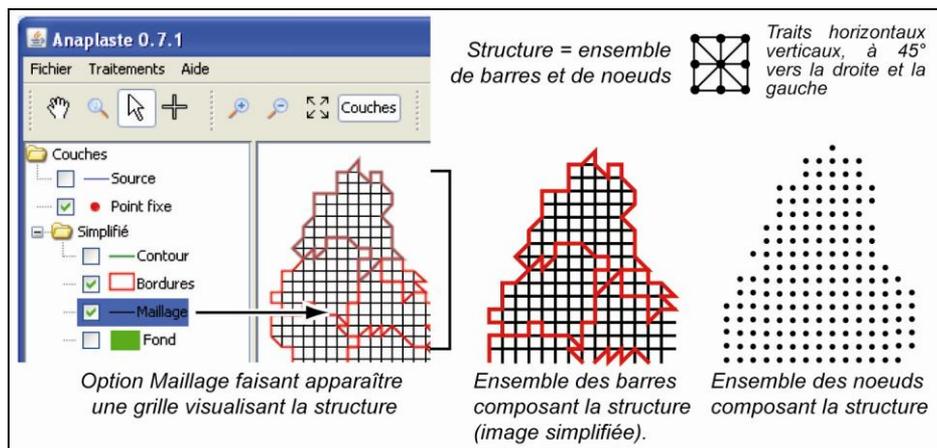


Figure 20. Visualisation des éléments de la structure

Les forces que supportera cette structure sont appliquées à tous les éléments des limites des unités spatiales (figure 21).

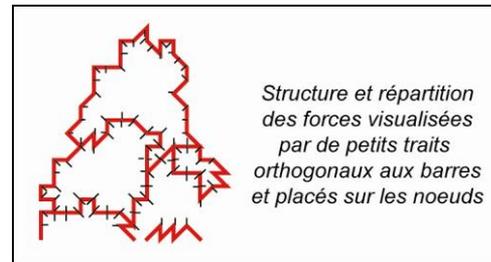


Figure 21. Répartition des forces

2.3. Points d'ancrage ou points fixes

Une fois la structure mise en place, il convient de déterminer les points d'ancrage (ou points fixes) qui permettront de stabiliser cette structure. Il faut au minimum deux points fixes ; en effet, avec un seul point d'ancrage, la structure pivoterait sur elle-même. Un deuxième point fixe permet de disposer d'un axe plus ou moins rigide. Les points d'ancrage peuvent être fixés à la fois selon la direction X et la direction Y, ou seulement selon une de ces directions.

Pour définir les points d'ancrage, dérouler le menu *Traitements* et choisir l'option *Points Fixes* (figure 22). Une nouvelle fenêtre apparaît avec différentes propositions permettant de sélectionner et caractériser les points à fixer ; parallèlement, le curseur se transforme en une croix.

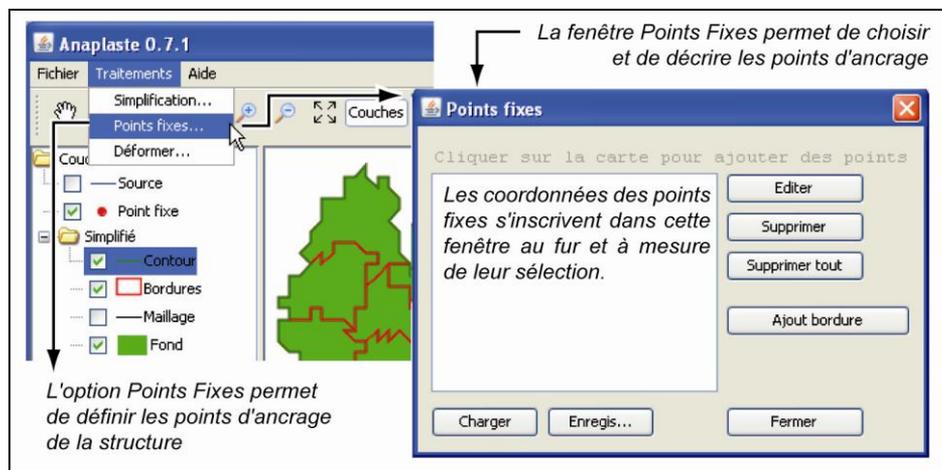


Figure 22. Option Points Fixes

Deux procédés permettent de préciser les points fixes : en cliquant directement sur la carte affichée ou en utilisant la nouvelle fenêtre *Points Fixes*.

– Lorsque l'option *Points Fixes* est sélectionnée, la flèche du pointeur de la souris se transforme en une croix que l'on active en cliquant sur le bouton gauche de la souris à l'emplacement souhaité pour le point d'ancrage. Une fois le clic actionné, un point apparaît sur la carte et ses coordonnées s'affichent dans l'emplacement blanc de la fenêtre *Points Fixes* en tant que points fixes selon les deux directions, Horizontale (*H*) et Verticale (*V*). En sélectionnant les coordonnées affichées d'un point et en cliquant sur *Editer*, une nouvelle fenêtre apparaît permettant de décider si ces points doivent être fixés selon une des deux directions ou les deux simultanément (figure 23).

– Les points fixes peuvent aussi être définis à l'aide de la fenêtre *Points Fixes*, soit en cliquant sur *Ajout Bordure* si l'on veut que tous les points du contour extérieur soient fixes, soit en cliquant sur l'option *Charger* pour rappeler les coordonnées de points déjà relevés (figure 24).

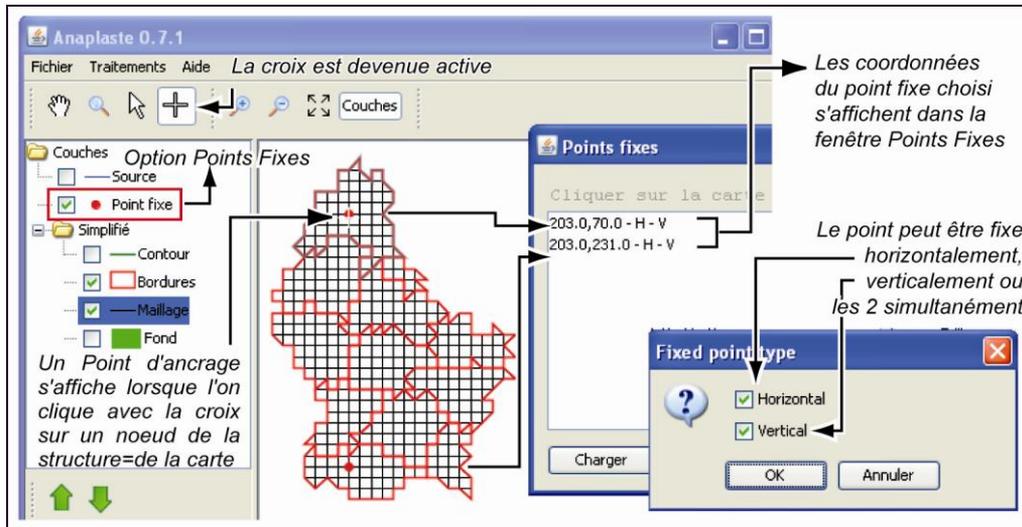


Figure 23. Sélection directe des points fixes

Dans tous les cas, le choix du nombre et de la position des points d'ancrage est délicat. Des tests sont souvent nécessaires pour prendre des décisions en fonction des buts poursuivis. On peut (figure 24) sélectionner tous les points d'un contour si l'on veut que les déformations ultérieures ne modifient pas la forme générale de la carte ; on peut vouloir conserver les mêmes points pour un espace donné quelle que soit la variable appliquée et donc stocker les coordonnées associées dans un fichier intitulé *Enregistrer*. On peut effacer un point ou tous les points avec l'option *Supprimer* ou *Supprimer tout*.

Tous les points retenus comme points d'ancrage s'affichent sur la carte au fur et à mesure de leur sélection si la couche *Point Fixe* de la fenêtre gauche est cochée ; sinon ils ne s'affichent pas. Ils peuvent être modifiés sur le plan graphique, comme indiqué précédemment (figure 8), en plaçant la souris sur cette option *Point Fixe* et en utilisant le clic droit de la souris pour sélectionner l'option *Style*.

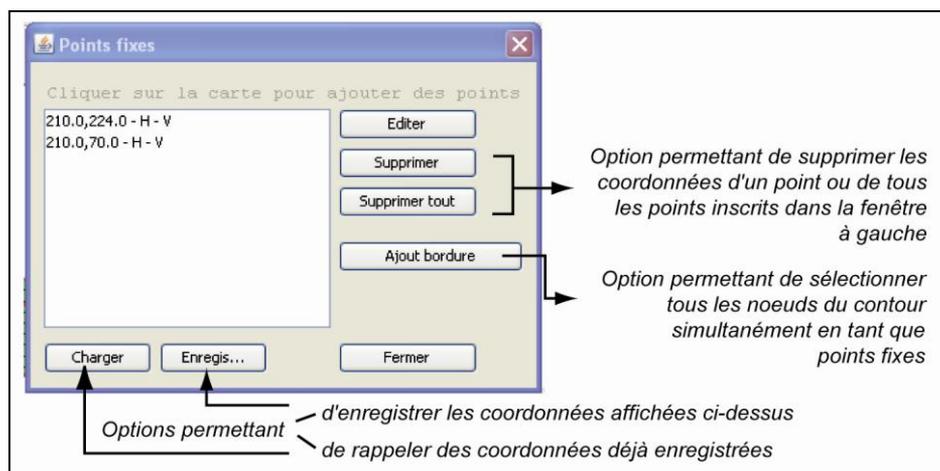


Figure 24. Ajout, suppression enregistrement de points fixes

Une fois les points fixes déterminés, la construction de la structure est achevée ; il est désormais possible de lui appliquer des forces, donc une variable thématique, et de procéder à la déformation de la surface associée.

3.

Application des forces et déformation de la structure : construction des cartes piézoplèthes

L'application à la structure créée d'une variable thématique $[Z]$, considérée comme une force⁶, engendre la déformation de cette structure⁷. Dans le principe de la méthode retenue, ces déformations sont planes, linéaires⁸ et s'effectuent par dilatations (valeurs positives) ou rétractions (valeurs négatives) des éléments constituant la structure. La variable thématique à représenter joue le rôle de forces qui bouleversent la structure, c'est-à-dire l'espace géographique, et perturbent donc son équilibre initial. Des réajustements entre les éléments s'opèrent afin de rétablir un nouvel équilibre que traduira la déformation finale. Pour ce faire, la variable thématique est centrée afin que les valeurs positives et négatives s'annulent.

3.1. Obtention de la déformation de la structure

L'obtention de la déformation de la structure inclut différentes commandes qui aboutissent à l'affichage d'une carte piézoplèthe dont la visualisation peut être améliorée par l'utilisation d'une échelle ou d'un coefficient d'exagération, et par des options graphiques. Tous les résultats graphiques et numériques peuvent être sauvegardés.

Les commandes sont de deux ordres : les commandes de base qui produisent directement une carte déformée ; les commandes ultérieures qui conduisent à améliorer la visualisation de la déformation.

3.1.1. Commandes de base de la déformation

Pour obtenir une déformation de la structure et, par suite, une carte piézoplèthe, dérouler à nouveau le menu *Traitements* et choisir l'option *Déformer* (figure 25). Une fenêtre intitulée *Transformer* s'affiche avec des choix à effectuer (figure 25).

⁶ Les forces sont attachées à la surface de chaque élément qui reçoit une charge. Pour des raisons de calcul des déplacements des points, les charges sont réparties sur les sommets, donc les nœuds, de chaque élément.

⁷ L'ensemble de cette introduction s'appuie sur le mémoire de C. Eaux [1989].

⁸ Ici, les forces sont assimilées à une température qui, après étude, est apparue comme la charge la plus similaire aux variables thématiques à représenter [Eaux, 1989].

- Dans le menu déroulant *Attribut*, sélectionner la variable à traiter dans la liste qui apparaît et qui correspond aux noms indiqués dans le fichier des données [Z] lu lors de la première étape.
- Choisir l'option de centrage *Moyenne* en cochant la case correspondante. Dans certains cas (une variable avec une distribution très dissymétrique ou plurimodale), on peut éventuellement retenir *Médiane* mais ceci est très discutable compte tenu du modèle sous-jacent. L'option *Aucun* est totalement déconseillée car elle est contraire au modèle retenu.

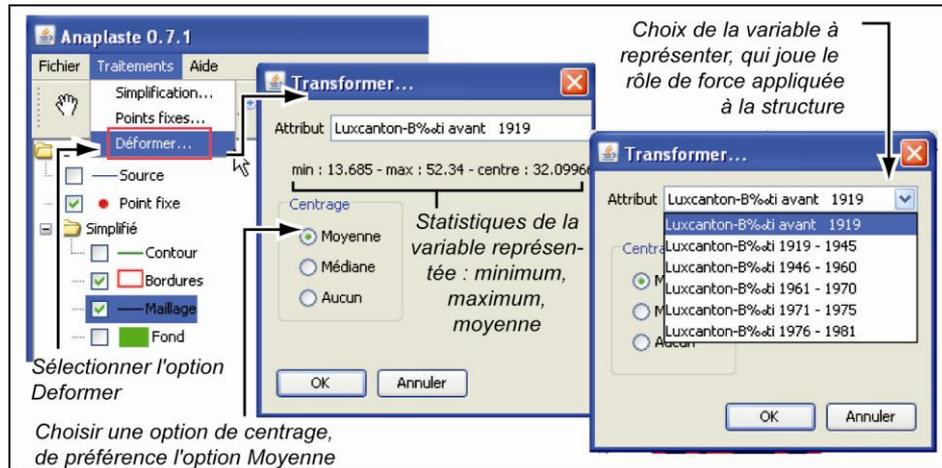


Figure 25. Affichage des fichiers utilisés

Le choix de ces paramètres aboutit à la production d'une première carte déformée qui apparaît dans la partie droite de la fenêtre, se substituant aux cartes précédentes. Cette carte, correspondant au nouvel équilibre de la structure compte tenu des forces appliquées, est plus ou moins lisible – trop déformée ou peu déformée – et une meilleure visualisation peut être souhaitée.

3.1.2. Amélioration de la visualisation de la déformation

Pour rendre la carte plus lisible, on peut contrôler le paramètre d'exagération de la déformation. Les déformations étant régulières sur l'ensemble de la surface, pour les accentuer ou les réduire, il suffit de choisir un coefficient qui joue alors un rôle multiplicateur sans modifier l'équilibre de la structure calculée précédemment⁹.

Pour ce faire, on fait appel à la règle avec curseur mobile qui s'est affichée en même temps que la carte et qui se trouve au niveau de la barre de menu en haut de la fenêtre. On fait glisser le curseur soit vers la gauche pour réduire la déformation, soit vers la droite pour l'accentuer. On peut également directement modifier la valeur du coefficient dans la case située à côté de la règle (figure 26).

⁹ Pour comprendre l'utilisation de ce paramètre, il suffit de se reporter à la construction d'un profil topographique avec en abscisse les distances et en ordonnée les altitudes. Dans une zone de plaine où les variations d'altitude sont minimales, prendre la même échelle pour les distances et les altitudes aboutit à un profil complètement plat. Dans ce cas, on modifie l'échelle des hauteurs c'est-à-dire des altitudes, en les exagérant. On peut également établir une comparaison similaire avec les choix concernant l'échelle des hauteurs dans une carte 3D.

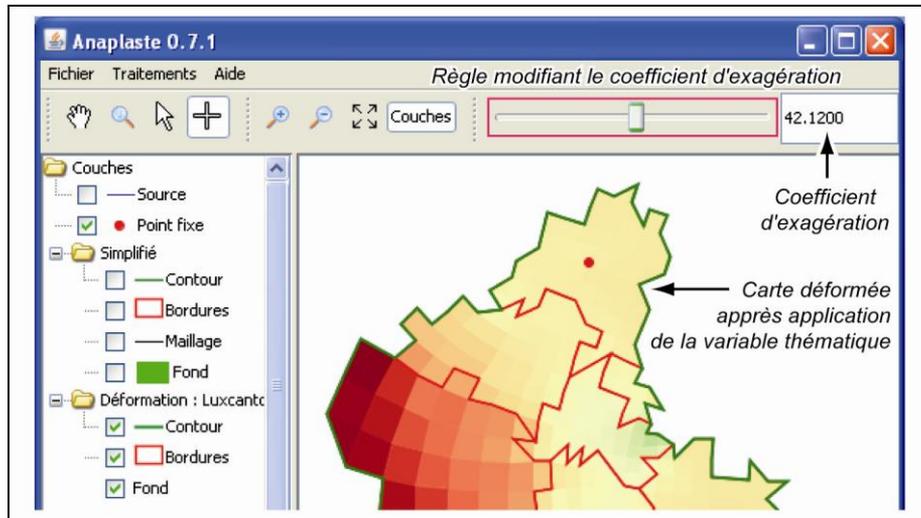


Figure 26. Carte piézoplèthe et coefficient d'exagération

Contrôler ce paramètre n'est pas évident. Rappelons que les déformations se traduisent par des agrandissements des mailles lorsque les valeurs centrées sont supérieures à la moyenne, donc à zéro, et des réductions dans le cas inverse. Pour la construction de la figure, une maille exprimant une valeur moyenne (soit zéro après centrage) conserve sa taille initiale ; les déformations par rapport à cette maille moyenne sont ensuite plus ou moins accentuées. Compte tenu de ces remarques, le choix du coefficient dépend principalement du but de la carte finale. Si l'objectif est seulement graphique et ne concerne qu'une carte, l'utilisateur dispose d'une certaine liberté ; si plusieurs cartes sont à présenter simultanément, que ce soit pour une simple visualisation ou dans le but d'une comparaison de modèles, il est impératif que le coefficient soit commun à toutes les cartes. Il convient alors de choisir celui qui permet la meilleure visualisation globale « moyenne » (figure 27).

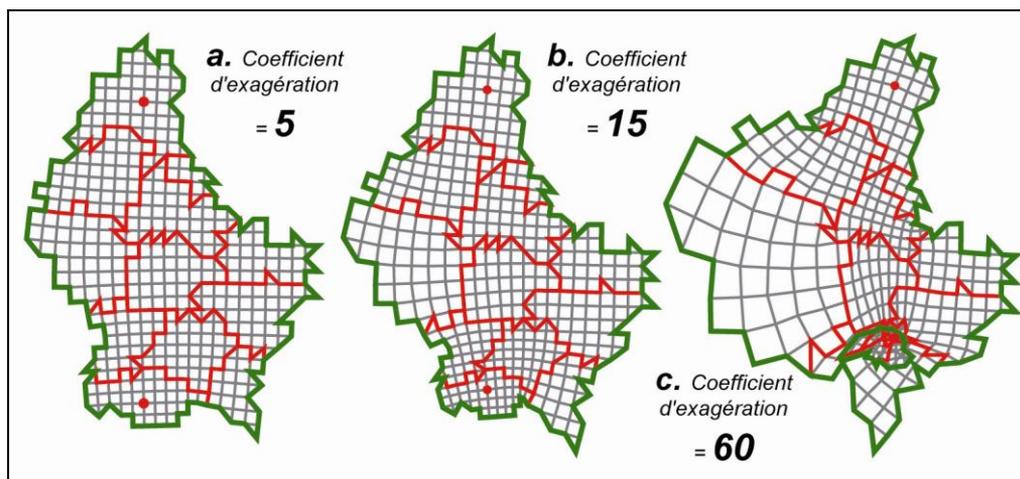


Figure 27. Variation du coefficient d'exagération

Sur la figure 27, on voit qu'en **a** le Luxembourg n'est quasiment pas déformé alors qu'en **c**, le pays devient difficilement reconnaissable, en particulier au sud-est. Seule l'image **b** permet une lecture heuristique aisée.

3.2. Affichages liés à l'option *Déformation*

En version standard, la carte déformée (carte piézoplèthe), en couleur avec limites internes, s'affiche, avec sa légende, dans la partie droite de la fenêtre. Elle est accompagnée à gauche d'un nouveau dossier *Déformation* associé au nom de la variable [Z] représentée. Comme précédemment, l'affichage est géré par le système de cases à cocher dans la partie gauche de la fenêtre.

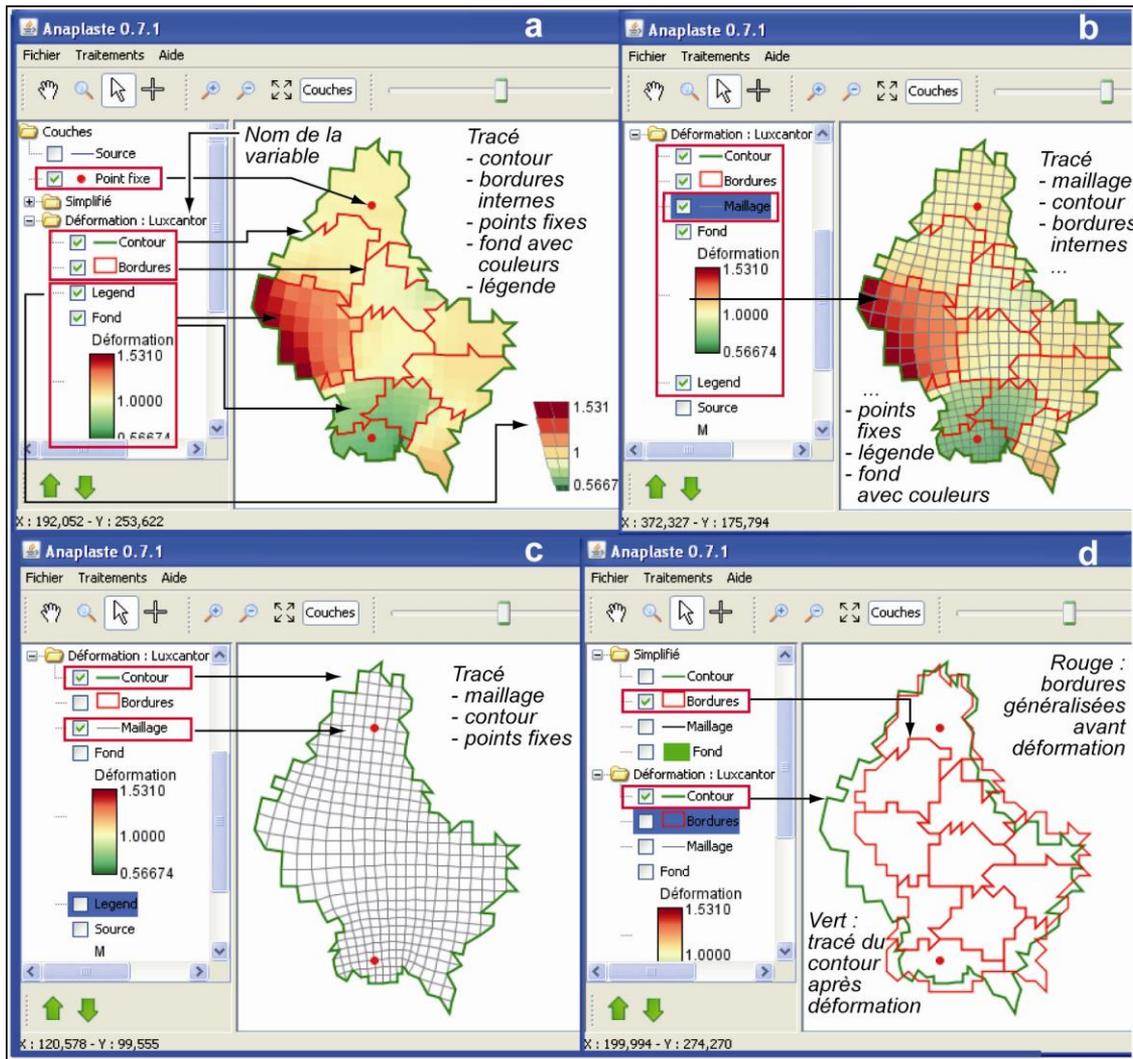


Figure 28. Affichages liés à la déformation

La figure 28 montre des exemples d'affichage liés aux choix des couches placées dans la partie gauche de la fenêtre.

- La couche *Contour* permet d'afficher le contour externe de la carte, en vert par défaut.
- La couche *Bordures* révèle les limites internes de la carte, en rouge par défaut.
- La couche *Maillage* fait apparaître les éléments de la structure après déformation. Son affichage sous une forme simplifiée est essentiel pour faciliter la lecture des déformations.
- La couche *Fond* introduit la couleur à l'intérieur de la carte, couleur redondante avec les déformations. Cette option contient une échelle graphique indiquant les valeurs extrêmes [Z] calculées après déformation. Elle reste toujours présente
- La couche *Legend* permet de supprimer la légende graphique tracée dans la partie droite de la fenêtre à côté de la carte.

– La couche *Source* permet d'afficher les unités originelles non généralisées après déformation. Les nouvelles coordonnées peuvent alors être utilisées pour une comparaison spatiale à l'aide d'un logiciel comme Darcy.

Toutes les options de visualisation peuvent être modifiées dans leur style en cliquant sur leur nom avec le clic droit de la souris et en choisissant *Style*. L'option *Statistics* est disponible pour les couches *Source*, *Bordures* et *Fond*, mais le *Scatter Plot* n'est utile que pour *Source* et *Bordures* où il permet le croisement de la variable [Z] et des résultats obtenus (surface, force de déformation, etc.).

Le clic droit placé sur une couche donnée permet également l'exportation soit *numérique* soit *graphique* des résultats affichés comme indiqué dans le §1.3, figures 8 et 9. En choisissant *Export* ou *Export Géométries* selon la couche, on peut ainsi récupérer des informations non directement visibles, en particulier les coordonnées des différentes formes de la carte après déformation : contour, bordures internes, maillage. Ces dernières permettent de mesurer éventuellement l'importance des déformations par comparaison avec les coordonnées initiales après généralisation, à l'aide du logiciel Darcy comme indiqué précédemment.

3.3. Affichages numériques liés à la carte déformée

D'autres informations numériques sont disponibles en pointant avec la flèche (qui se transforme en un doigt pointé) sur une entité de la carte déformée affichée dans la partie droite de la fenêtre, et en cliquant ensuite avec le clic gauche de la souris sur cette entité. Une nouvelle fenêtre apparaît, intitulée *Bordures*. Elle fournit les éléments suivants (figure 29) :

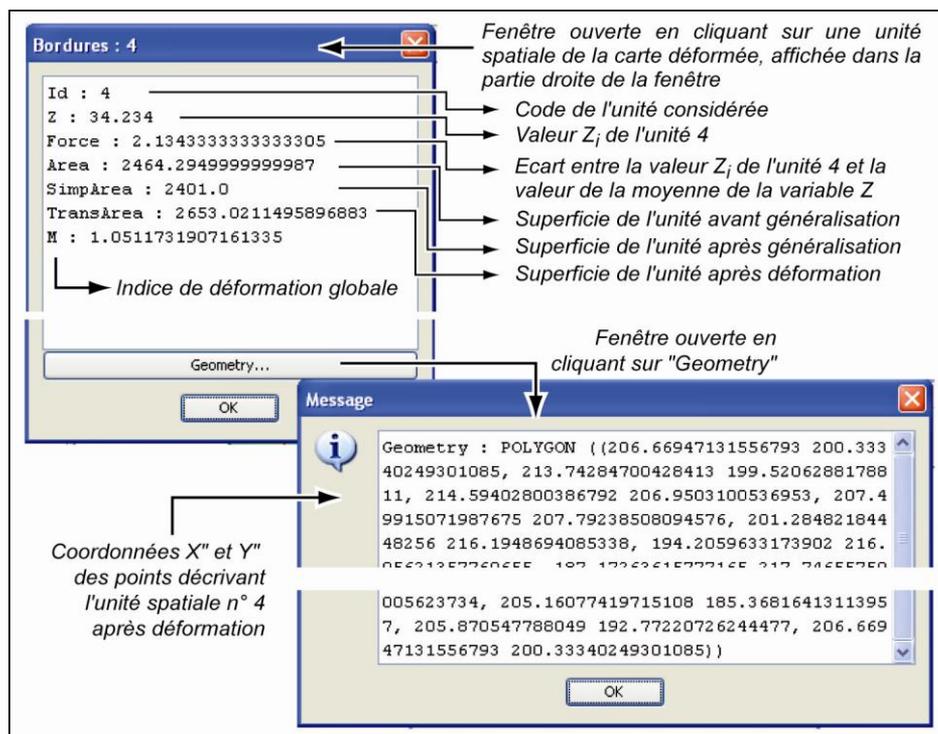


Figure 29. Affichages numériques associés à la carte déformée

- le numéro de l'unité ;
- la valeur de la variable pour l'unité considérée ;
- la force appliquée à l'entité ; elle est égale à l'écart de sa valeur thématique [Z_i] à la moyenne de la variable [Z] ;
- la surface initiale de l'unité ;

- la surface généralisée avant déformation ;
- la surface généralisée après déformation ;
- la déformation globale mesurée par la racine carrée du rapport entre la surface initiale de l'unité et sa surface après déformation, compte tenu du coefficient d'exagération ; de ce fait, seules les cartes – et par suite les coefficients associés – établies avec les mêmes coefficients peuvent être comparées ;
- en cliquant sur le bouton *Geometry*, une nouvelle fenêtre, intitulée *Message*, apparaît contenant les nouvelles coordonnées de l'entité après déformation liées au coefficient de déformation.

Tous ces résultats numériques peuvent être sauvegardés en format *Texte (.txt)*. Dans la partie gauche de la fenêtre, avec le clic droit, sélectionner pour la couche choisie l'option *Export Geometries* comme indiqué dans le paragraphe 1.3. Toutes les coordonnées peuvent alors être regroupées dans un tableur comme Excel, avec d'une part celles qui sont associées à la forme initiale et d'autre part celles qui sont liées à la forme généralisée.

Conclusion

Le logiciel Anaplaste est donc compatible avec les trois systèmes : Linux, MacOS et Windows, et ceci près de 30 ans après la conception de la méthode. Il produit rapidement les cartes et permet de modifier aisément les paramètres ou les données elles-mêmes. Ainsi les tests vont pouvoir se multiplier afin de vérifier les possibilités réelles de cette méthode. En effet, s'il semble que le matériau de base de la surface joue peu au niveau cartographique en ce qui concerne la déformation comme l'a montré C. Enaux [1989], le choix de la température comme charge appliquée à cette surface implique des contraintes au niveau des variables thématiques à représenter. Il convient¹⁰ que l'échelle de variations (ou étendue) de ces variables [Z] ne soit pas trop dissemblable de celle des températures. De ce fait, des données en valeurs absolues sont fortement à éviter, des pourcentages ou des données standardisées étant de loin préférables. Mais on peut se demander si d'autres charges auraient pu être envisagées.

Cette méthode permet de *lire des formes globalement et non dans le détail*. Il ne faut pas faire dire aux cartes plus que ce qu'elles peuvent donner : une surface maillée ne correspond pas à une quantité donnée. La méthode peut être utilisée selon deux objectifs très différents. Si elle est considérée seulement comme un moyen sémiotique original visant à saisir les variations d'ensemble mieux que sur une carte choroplèthe, le choix des paramètres n'est pas nécessairement très strict. Mais si des cartes sont à comparer entre elles ou si on les considère comme des modèles, alors *il est impératif que toutes les cartes d'un même espace géographique soient construites avec la même structure* (pas de la généralisation, points fixes identiques) *et avec le même coefficient d'exagération* pour la déformation.

Il faut encore rappeler que ce procédé s'appuie sur des découpages spatiaux au même titre que les cartes choroplèthes ; il en présente donc les mêmes dangers, ce dont il faut être conscient. Une solution est de l'appliquer à un espace carroyé où toutes les entités ont des surfaces égales ; ou de

¹⁰ Les « conseils » d'utilisation avancés en conclusion s'appuient, comme précédemment, sur les travaux de C. Enaux [Enaux, 1989].

procéder à une transformation préalable du fond de carte, destinée à « égaliser » les surfaces des entités tout en conservant la forme générale de l'espace concerné.

Enfin, si les résultats visuels sont très séduisants, il faut se rappeler que ce procédé n'est qu'une méthode de transformation cartographique parmi d'autres, avec ses contraintes et ses limites. Cette méthode, très originale, doit être utilisée lorsqu'elle apporte un plus à la connaissance du phénomène étudié et que les hypothèses sous-jacentes sont en adéquation avec les caractéristiques de ce phénomène. Dans cette optique, elle mérite d'être améliorée statistiquement, graphiquement, et approfondie au niveau du transfert de modèle grâce à des échanges avec des spécialistes de la résistance des matériaux.

Références bibliographiques

BRAUN J., 1994, *L'accessibilité au Luxembourg. Transport individuel et transport collectif, complémentarité ou concurrence ?* Mémoire présenté dans le cadre du stage pédagogique, Luxembourg, Strasbourg, 144 p.

BRONNER A.C., en collaboration avec CAUVIN C. 1998, « Proximités urbaines et transformations cartographiques de position ». Actes de l'Ecole thématique « Proximités urbaines », juin 1996, Publication in : *La ville ou la proximité organisée*. Ch. IV. sous la direction de Huriot J.M., Anthropos-Coll. Villes, Paris, pp. 47-58.

CAUVIN C., 1995a, « Cartographie théorique et anamorphoses ». *17th International Cartographic Conference. Septembre 95*. Barcelone. Actes du colloque. Vol. II, pp. 2305-2311.

CAUVIN C., 1995b, « Transformações cartograficas espaciais e anamorfes ». Chapitre 7, in : *Os mapas em Portugal. Da tradiçao aos novos rumos da Cartografia*. Ediçoes Cosmos, Lisboa, p. 269-310

CAUVIN C., 1996a, « Cartographie théorique et anamorphoses », *Comité Français de Cartographie*, Bulletin n° 146-147, p. 82-88.

CAUVIN C., 1996b, « Anamorphoses : bibliographie simplifiée ». *Cybergeo*. 5 p.

CAUVIN C., 1997a, « Au sujet des transformations cartographiques de position ». *Sistema terra*, Vol. 6, n° 1/3, pp. 80-83.

CAUVIN C., 1997b, « Au sujet des transformations cartographiques de position ». Diffusion de la communication présentée lors du Soixantième anniversaire de l'Ecole de Cartographie de Paris, *Cybergeo*, 11 p.

CAUVIN C., 1998, « Des transformations cartographiques ». *Mappemonde*, 49, n° 1. Numéro spécial sur l'apport de l'informatique à la cartographie. pp. 12-15.

CAUVIN C., ESCOBAR F., SERRADJ A., 2008, « Transformations cartographiques de position », ch. 1, pp. 17-69, *Cartographie thématique 4. Des transformations renouvelées*, Hermes, Lavoisier, Paris, 198 p.

CAUVIN C., ESCOBAR F., SERRADJ A., 2010, « Cartographic Transformations of Position », ch. 4, pp. 223-276, in : *Cartography and the Impact of the Quantitative Revolution*, Iste, Wiley & sons, London, 408 p.

CAUVIN C., REYMOND H., avec la collaboration de HIRSCH J., SERRADJ A., VETTER-GUYON S., 1986, *Nouvelles méthodes en cartographie : réflexions*. Collection RECLUS Modes d'emploi, Montpellier, 56 p.

CAUVIN C., REYMOND H., en collaboration avec JUND E., KLEINSCHMAGER R., 1989, « Images des élections présidentielles en France ». *Mappemonde*. n° 3. pp. 1-3.

CAUVIN C., SCHNEIDER C., en collaboration avec CHERRIER G., 1989, « Cartographic transformations and the piezopleth maps method », *The Cartographical Journal*, Vol. 26, n° 2, pp. 96-104.

CAUVIN C., SERRADJ A., 1985, « STRUCT : un modèle d'anamorphose bi-proportionnelle ». in : *Mélanges Joly* (CNRS), Paris, pp. 259-268.

CHERRIER G., 1979, « Principe de la méthode des éléments finis, applicables à la résolution des réseaux ». p. 21, In : RIMBERT S. *et al.*, *Cartographie informatisée et géographie humaine*, ATP 3457 CNRS-LCT, tome 2, fascicule A : Expérimentations en cartographie transformationnelle, 76 p. + annexes.

D'ARCY THOMPSON W., 1917, 1948, *On growth and form*, MacMillan, New York, 1 116 p.

D'ARCY THOMPSON W., 1994, *Forme et croissance*, Traduit par Teyssié D., Seuil, CNRS, Paris, 336 p.

DA SILVA A., 1986, *Les nouvelles méthodes cartographiques transformationnelles assistées par ordinateur. L'anamorphose : conception, interprétation, comparaison d'un espace*. Mémoire de Maîtrise de Géographie, Paris, Fascicule 1 : 123 p. et fascicule 2 : 195 p.

ENAUX C., 1989, *Essai de cartographie transformationnelle. La famille des anamorphoses morphothématiques de poids*, Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université de Strasbourg. 106 p.

SCHNEIDER C., 1987, « Les cartes en champs de force (piézoplèthes) ». *Mappemonde*, n° 3, pp. 19-21.

SCHNEIDER C., 1987, *Déformations cartographiques d'après le modèle HERCULE*. Brochure d'utilisation, L.C.T. Strasbourg, Texte ronéoté. 12 p.

SCHNEIDER C., CHERRIER G., 1980, « Expansion de contours par les solutions AZMAP, PTHIES, STRUCT ». pp. 18-20. In : RIMBERT S. *et al.*, *Cartographie informatisée et géographie humaine*, ATP 3457 CNRS-LCT, tome 2, fascicule A : Expérimentations en cartographie transformationnelle, 76 p. + annexes.

ZIENKIEWIWCZ O.C., 1973, *La méthode des éléments finis appliquée à l'art de l'ingénieur*. Ediscience, Paris, 533 p.

ZIENKIEWIWCZ O.C., CHEUNG Y.K., 1967, *The finite element method in structural and continuum mechanics*. Mac Graw Hill publishing, New York, London .