

De la représentation planisphère aux SIG

Florent Chuffart, dirigé par Alain Leduc

Maîtrise d'Ingénierie Mathématique, année universitaire 2002-2003, session de Juin

Table des matières

1	Introduction	1
2	La représentation planisphère	1
2.1	Les projections conformes	2
2.2	Les projections équivalentes et aphyllactiques	2
2.3	Un peu de vocabulaire	3
2.4	La projection de Lambert	3
2.5	La projection de Mercator, système UTM	3
2.6	Le système GPS	4
3	Les SIG, le <i>webmapping</i>	5
3.1	Définitions	5
3.2	Le <i>webmapping</i> : les acteurs	5
3.3	Le langage SVG	5
4	Mise en œuvre d'un <i>webmapping</i> "3D"	6
4.1	Choix des points particuliers	7
4.2	Sur le terrain	7
4.3	Côté développement	8
4.4	La légende	8
4.5	L'animation	8
4.6	Possibilité de \TeX ifier la carte	9
5	conclusion	9

1 Introduction

"Une Carte est une représentation géométrique plane, simplifiée et conventionnelle, de tout ou partie de la surface terrestre, dans un rapport de similitude convenable qu'on appelle l'échelle". Fernand Joly ([Jol85]).

Dés que les hommes ont commencé à voyager, ils ont cherché à se situer géographiquement et à mémoriser leurs chemins. Ils se sont confrontés à diverses problèmes notamment à celui de la forme de la Terre ou encore à la mobilité du système stellaire. Depuis la cartographie n'a cessé d'évoluer jusqu'à la création de systèmes d'aides à la décision et autres SIG.

2 La représentation planisphère

On se représente souvent la Terre comme une sphère, mais il n'y a qu'à observer les paysages montagneux ou les collines du Pays de Bray pour comprendre qu'il n'en est rien. Mesurer la forme de la terre, c'est l'objet de la géodésie et cette science n'a cessé de faire évoluer la forme théorique de notre planète

au cours des derniers siècles. La surface de la Terre peut être assimilée à une ellipsoïde appelée "géoïde de référence". Il existe plusieurs modèles de géoïde, nous ne citerons que l'ellipsoïde Clarke 1880 de demi grand-axe $a = 6378249,145m$, d'aplatissement $1/f = 293,466021$ utilisée par l'IGN avant l'adoption de l'ellipsoïde WGS 84 de demi grand-axe $a = 6378137$, d'aplatissement $1/f = 298,257223563$ utilisée par les GPS[Cor00]. La surface de la Terre est donc projetée sur le géoïde de référence. Pour passer du géoïde au plan, il est nécessaire d'établir entre les points de ces deux entités une correspondance telle que :

$$x = f(\phi, \lambda) \quad y = g(\phi, \lambda)$$

$$\lambda = h(x, y) \quad \phi = k(x, y)$$

Où x et y sont les coordonnées du plan, ϕ est la latitude, λ la longitude et f, g, h, k des fonctions continues. Il existe donc une infinité de solutions au problème de projections, et on en connaît plus de deux cents[Jol85]. Toutes ces projections n'ont pas le même intérêt et il n'y a guère plus d'une trentaine d'entre elles qui soient couramment employées [Rei57]. Elles servent à construire les canevas dans les mailles desquels sont mis en place tous les points à représenter. La sphère n'étant pas une surface développable, il est impossible de transférer cette surface sur un plan sans la déchirer ni l'altérer. Les altérations sont exclusives les unes des autres, et le cartographe doit choisir entre une conservation des angles, une proportionnalité des surfaces ou un compromis qui permette de sauvegarder une propriété singulière au détriment des autres.

2.1 Les projections conformes

Les projections conformes sont celles qui respectent le rapport des formes entre les figures de la surface de projection et celles de la sphère. Autrement dit, ces projections conservent les angles ; il faut pour cela que méridiens et parallèles se recoupent sur le plan perpendiculairement, comme ils le font sur la sphère. Les mailles du canevas sont ainsi transcrites par un système de rectangles ou de trapèzes curvilignes. Le rapport des longueurs doit en outre être constant, en chaque point, dans toutes les directions, ce qui implique qu'il varie constamment d'un point à un autre et donc que les surfaces ne sont pas conservées [Car72].

Par exemple, une fonction holomorphe $F|_{\Delta}$ injective sur Δ est une transformation conforme [Pab95]. En effet, considérons deux chemins γ_1 et γ_2 tracés dans δ et définis sur le même intervalle $[a, b]$. Posons $\delta_1 = F \circ \gamma_1$ et $\delta_2 = F \circ \gamma_2$ les images par F de γ_1 et γ_2 . Supposons que γ_1 et γ_2 aient un point commun z_0 pour une valeur $t = t_0$ et que $\gamma_1'(t_0)$ et $\gamma_2'(t_0)$ existent et sont différents de zéro. Ce sont alors les affixes complexes des vecteurs \vec{U}_1 et \vec{U}_2 tangents en z_0 à γ_1 et γ_2 . Les vecteurs tangents \vec{V}_1 et \vec{V}_2 au point correspondant $w_0 = F(z_0)$ de δ_1 et δ_2 sont de la forme :

$$\vec{V}_1 = dF[\vec{U}_1]$$

$$\vec{V}_2 = dF[\vec{U}_2]$$

La différentielle $dF(z_0)$ est ici une similitude directe (car F holomorphe[Pab95]). Donc l'angle orienté du couple (\vec{V}_1, \vec{V}_2) est égal à celui du couple (\vec{U}_1, \vec{U}_2) . Voir la figure 1.

2.2 Les projections équivalentes et aphyllactiques

Les projections équivalentes conservent, elles, les rapports de surfaces. Chacune des mailles du canevas équivaut, à l'échelle, à la maille correspondante de la sphère. Mais l'échelle des longueurs varie autour d'un point dans toutes les directions, et les figures sphériques sont par conséquent déformées. Nulle projection ne peut être à la fois conforme et équivalente. Les projections qui ne sont ni conformes ni équivalentes sont dites projections aphyllactiques ou quelconques.

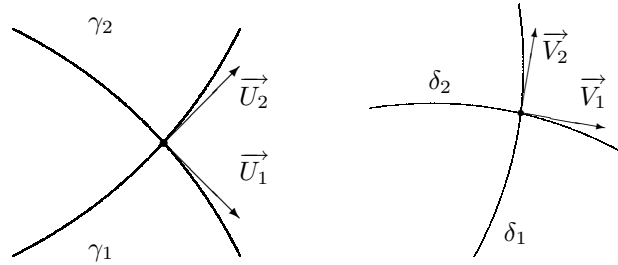


FIG. 1 – Les projections conformes

2.3 Un peu de vocabulaire

La surface sur laquelle se fait la projection peut être un plan ou une surface développable. Quand la surface de projection est centrée sur le pôle ou parallèle au plan équatorial, on dit que la projection est polaire, ou équatoriale, ou directe. Si elle est centrée sur un point de l'équateur ou parallèle à un méridien, elle est transverse, ou méridienne. Si elle est centrée sur un point ou un cercle quelconque de la sphère, elle est oblique voir figure 2.

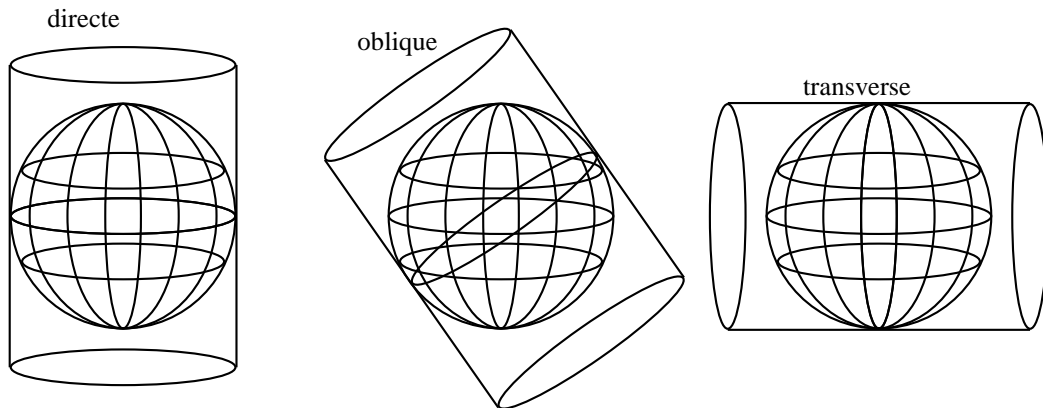


FIG. 2 – Les différentes projections cylindriques

2.4 La projection de Lambert

La projection réglementaire en France est une conique conforme de Lambert. Cette projection est associée au système géodésique NTF lui-même associé à l'ellipsoïde Clarke 1880. Dans le but de minimiser les déformations, la France a été découpée en 4 zones (Lambert I à VI). Une projection appelée "Lambert II étendu" couvre la France entière pour des besoins d'amplitude nationale. [IGN03] Les projections de Lambert sont des projections coniques tangentes (ie : la surface développable est un cône) voir la figure 3.

2.5 La projection de Mercator, système UTM

Comme nous avons pu le constater, il existe différents types de projection, elle n'ont pas toutes la même utilité. En effet, les marins utiliseront plutôt des cartes issues d'une projection conforme pour pouvoir tenir

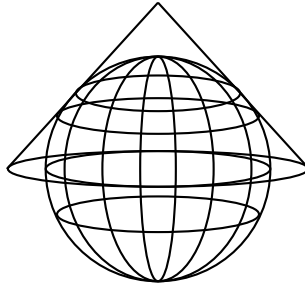


FIG. 3 – Projection conique tangente

leur cap, tandis que les agriculteurs se servent de cartes équivalentes afin de mesurer la surface de leurs parcelles pour la déclaration PAC. Face à ces multiples outils et afin de corriger les problèmes liés à l'utilisation des coordonnées en degrés, l'armée américaine a développé un nouveau système de cartographie [Cor00]. Ce système, qui utilise la projection transversale de Mercator (voir figure 2) est appelé système UTM. Le système UTM est aujourd'hui largement répandu en cartographie car il minimise les déformations dues à la projection, il est conforme, à l'intérieur d'une zone UTM (voir figure 4), les coordonnées sont définies en mètre. Dans le système UTM, Le géoïde de référence (WGS 84) est découpé en 60 fuseaux de 6 degrés centrés sur le méridien de Greenwich .Chaque fuseau est une projection transversale locale de Mercator , il est lui même découpé en 20 bandes de 8 degrés (voir figure4), les 20 degrés qui restent appartenant aux pôles qui ne sont pas bien représentés dans le système UTM. La région rouennaise se trouve dans la zone UTM 31U.

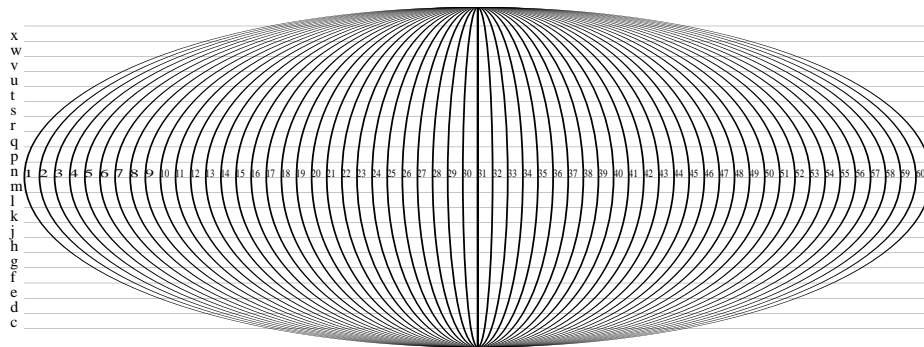


FIG. 4 – Système UTM

2.6 Le système GPS

Le système GPS est la concrétisation de l'étude d'un système de radio navigation initié par la société Californian Aerospace Corporation avec l'aval de l'US Air Force en 1963. Il est constitué d'une constellation de 24 satellites. Chaque satellite, équipé d'une horloge atomique, transmet sa position ainsi que la date d'émission du message. Grâce à ces informations et à la présence de six stations terrestres le récepteur GPS peut calculer la position, la vitesse, l'heure, la date ainsi que toutes autres informations nécessaires à la navigation. En attendant Galliléo (Europe), le GPS est le seul système de radionavigation à l'échelle mondiale[Cor00].

3 Les SIG, le webmapping

3.1 Définitions

La cartographie connaît depuis une dizaine d'années une véritable révolution qu'elle doit principalement à deux disciplines associées, la télédétection et l'informatique. La première lui a considérablement ouvert son champ d'application en élargissant ses sources d'informations, d'abord à la photographie aérienne puis de plus en plus à l'imagerie satellitaire. La seconde démultiplie ses possibilités en mettant à sa disposition des capacités de stockage et des vitesses de traitement de données sans cesse grandissantes. La floraison actuelle des systèmes d'information géographique (SIG) en constitue l'illustration la plus accomplie [Ste02]. Un SIG est constitué d'une base de donnée comportant des informations géographiques et des données non géographiques. Par exemple : La localisation de foyers, leur pouvoir d'achat, la réussite scolaire, le niveau d'étude sont des données utilisées pour le géomarketing afin de pouvoir cibler une campagne de publicité. La mise en relation de données comme les opérations de maintenance sur un système de distribution d'eau ou d'électricité, la vétusté des équipements, le coût de la maintenance apporte aux administrateurs de ce système des informations importantes quant à la prise de décision et l'organisation des tâches prioritaires. Une partie importante d'un SIG est son système de gestion de bases de données (SGBD) qui permet d'interroger la BD (ie : mettre en relation les informations géographiques et non géographiques). Une autre illustration des SGBD peut être une carte routière informatisée qui calcule la consommation en carburant le temps du trajet, les itinéraires bis.. Il existe plusieurs logiciels permettant de mettre en place des SIG, nous citerons Mapinfo (très répandu), Arcview (très coûteux) ou encore Macmap développé sous MacOS entre autres par Luc De Golbery, enseignant chercheur en faculté de géographie de Rouen.

Le webmapping est un cas particulier de SIG : l'interface utilisateur est le réseau internet. Prenons deux cartes routières informatisées : Route66 et www.viamichelin.com. Le premier est un logiciel, il faut l'installer sur une machine pour pouvoir le consulter. Le second est consultable sur internet, il entre donc dans le cadre du webmapping.

3.2 Le webmapping : les acteurs

Le domaine de prédilection du webmapping étant internet, il est donc normal de trouver une foule d'information concernant ce sujet sur la toile.

Il existe un rapport sur "La diffusion cartographique sur internet" [Les02]. Ce document sous licence GNU fait un tour d'horizon des différentes solutions existantes quant à la mise en ligne d'informations cartographiques extraites de SIG. Il est le fruit de la collaboration de professionnels et amateurs, autodidactes ou universitaires. Il recouvre des champs comme le coût, le temps de mise en place, le temps de formation sur le système et aussi les techniques et langages utilisés. Nous reviendrons sur ce dernier point dans le paragraphe suivant. On peut le trouver sur le site <http://geomatique.georezo.net>, portail francophone de la géomatique. Ce portail comporte une rubrique "emplois" et une rubrique "biblio" très complète, une rubrique "webmapping" ainsi qu'une rubrique "MapInfo", animée par Jaques Paris, Professeur honoraire à l'Institut d'Urbanisme de l'Université de Montréal.

Un autre acteur du webmapping est le serveur universitaire Suisse www.Carto.net. Il se situe à Zurich et est géré par André M. Winter, cartographe à Innsbruck au Tyrol, et Andreas Neumann, assistant universitaire à Zurich. Cette initiative est soutenue par Lorenz Hurni, professeur de cartographie à l'école polytechnique fédérale de Zurich. Les étudiants en cartographie, les infographistes et les acteurs sur internet y présentent leurs projets pour les faire connaître du grand public.

Du côté professionnel, nous citerons Géoclip (<http://www.geoclip.net>) entreprise de solutions cartographiques pour le web dont le responsable Eric Mauvière est également acteur du forum Cartonnet_dev de <http://geomatique.georezo.net>.

3.3 Le langage SVG

Pour répondre à la demande du marché, le langage utilisé sur Internet, HTML (Hyper Text Markup Language), évolue et se rapproche du métalangage plus ouvert et plus puissant avec lequel il est défini,

XML (eXtensive Markup Language). Il se dote d'extensions spécifiques, notamment SVG - Scalable Vector Graphics - pour créer et gérer des dessins vectoriels. Actuellement en 2003, en utilisant ce langage avec un visualisateur SVG téléchargeable gratuitement, il est possible de réaliser sur un ordinateur portable avec un simple éditeur de texte, dans un environnement multiplateforme (Mac, PC, UNIX), un SIG contenant des calques spécifiques (ordres de bataille, itinéraires,...) affichables à volonté sur les cartes du SIG. Cartes, calques, photos, textes, etc... sont désormais accessibles sur ordinateur en utilisant un des navigateurs Internet standards gratuits avec le visualisateur SVG également gratuit. XML et SVG permettent donc de sauvegarder à coût minimum des archives contenant un grand nombre de cartes sur lesquelles peuvent être plaqués des calques ordres de bataille, itinéraires et de les rendre accessibles sur le net.[Gas03]

Ce langage permet d'écrire des graphiques vectoriels 2D en XML. Il a été inventé en 1998 par un groupe de travail (comprenant Microsoft, Autodesk, Adobe, IBM, Sun, Netscape, Xerox, Apple, Corel, HP, ILOG ...) pour répondre à un besoin de graphiques légers, dynamiques et interactifs. Une première ébauche du langage est sortie en octobre 1998 et en juin 2000 apparaît la première version du Viewer Adobe (plugin permettant de visualiser le SVG). Le SVG s'est très vite placé comme un concurrent de Flash® et à ce titre, Adobe® (éditeur de logiciels de traitement d'images) a intégré ce langage dans la plupart de ses éditeurs (dont les principaux sont Illustrator® et Golive®)[all]. Adobe est également diffuseur du plugin SVG viewer nécessaire pour pouvoir afficher les objets SVG.

Le SVG comprend de nombreux avantages, notamment :

- Au niveau de la conception
 - Langage libre de droit (aucune licence demandée)
 - Etant issu du XML, il offre la possibilité d'utiliser tous les outils XML dont les parsers, les outils de transformations et les bases de données
 - Prise en compte des méthodes XML telles que les CSS2, XSL et XLINK
 - Langage supporté par les technologies d'Internet les plus communes (HTML, GIF, JPEG, PNG, SMIL, ASP, JSP, PHP, Javascript)
 - Compression possible d'un fichier SVG jusqu'à 95% (en utilisant la compression gzip)
- Au niveau du rendu graphique
 - Intégration des trois types d'objets graphiques : Formes vectorielles, images, texte
 - Utilisation de nombreux effets graphiques
 - Les balises SVG sont considérées comme des objets et peuvent ainsi recevoir des propriétés ou des attributs de styles
 - chaque élément du SVG peut être groupé, transformé et composé en objet
 - Possibilité de zoomer et de retailler une zone de vision
 - Les graphiques SVG peuvent intégrer des scripts internes ou externes (ECMAScript ou javascript)
 - Possibilité d'effectuer des recherches de vocabulaire dans le graphique.

Mais un inconvénient majeur : le plug-in SVG (viewer) est encore très peu implanté sur les navigateurs actuels, il devrait être intégré dans les futures versions d'Internet Explorer [all].

Le SVG est une recommandation du World Wide Web Consortium (W3C, organe régulateur du web pour la définition des nouveaux standards, dont l'INRIA est le premier représentant européen), il peut afficher des objets graphiques sur les téléphones dernière génération, sur les assistants de poches et autres dernières innovations technologiques du même acabit (<http://www.w3.org/2003/01/svg11-faq>). Nous noterons le site <http://www.yoyodesign.org/> qui diffuse des recommandations du W3C traduites en français, notamment celle du SVG (<http://www.yoyodesign.org/doc/w3c/svg1/index.html>).

Vous retrouverez tous ces acteurs dans le conceptogramme de la figure 5.

4 Mise en œuvre d'un *webmapping* "3D"

L'USF longskate, association loi 1901 destinée à promouvoir le longskate et à encadrer les activités relatives à ce sport, souhaitait développer une application permettant de représenter les différentes pistes d'entraînements aux vistesurs de son site internet (<http://RidersEnBray.free.fr>). Il fallait que la modélisation :

- tienne compte du dénivelé,
- des différents éléments se trouvant aux abords de la piste,

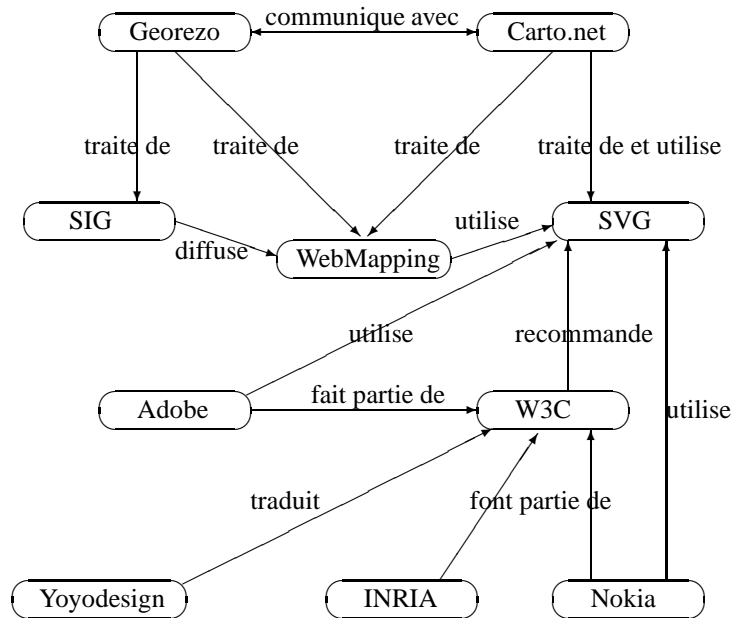


FIG. 5 – Conceptogramme des différents acteurs cités

- soit visible via internet,
- ne soit pas trop compliquée à mettre en œuvre,
- puisse être mise à jour au gré des découvertes de nouvelles pistes,
- et avec un coût de développement minimum.

J'ai donc choisi de placer les coordonnées (relevé GPS 3D) de points remarquables de la piste dans une base de données MySQL (opensource), puis de projeter ces points sur un plan particulier via un script PHP (serveur apache opensource) qui décrit la vue en SVG.

4.1 Choix des points particuliers

Le langage SVG offre la possibilité de tracer des courbes de Bézier. Pour ce faire, la syntaxe est la suivante : `<path d="M x1,y1 Q x2,y2 x3,y3" />` ou x_1, y_1 sont les coordonnées du premier point du chemin, x_2, y_2 les coordonnées du point de contrôle de direction de la courbe, x_3, y_3 les coordonnées du point d'arrivée (voir figure 6).

Une manière simple de modéliser la route est donc l'utilisation de la commande `path` pour chaque courbe de la piste. Pratiquement, les points de départ et d'arrivée sont "faciles" à obtenir (GPS) car ils sont sur la route, ce qui n'est pas le cas du point de contrôle. Pour cette raison, le point de contrôle sera calculé à partir des points de la route, et de la direction du chemin en entrée et sortie de courbe. (Voir les vecteurs de la figure 6).

4.2 Sur le terrain

Pour effectuer le relevé j'ai eu besoin d'une boussole afin de connaître la direction du chemin (azimut par rapport au nord) et d'un GPS pour effectuer les relevés.

Je suis donc parti du haut de la piste et j'ai fait 21 relevés (x, y, z, azimut), à ces relevés de chemin, s'ajoutent les relevés nécessaires aux éléments de légende.

On notera que la partie haute de la piste possédait un fort recouvrement végétal ce qui entraîna une perte de précision au niveau des relevés GPS. Il aurait été plus judicieux de faire les relevés en automne.

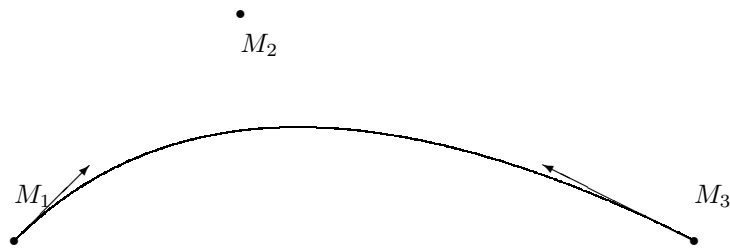


FIG. 6 – Courbe de Bézier à un point de contrôle

4.3 Côté développement

Une fois les données rentrées dans la base SQL [Rig01], le script PHP les charge et différentes fonctions permettent de les traiter. Dans un premier temps, l'application calcule les points de contrôle des différentes parties du chemin. L'utilisateur spécifie la vue qu'il souhaite obtenir, en entrant les deux paramètres (ϕ et θ) des coordonnées polaires du vecteur normal au plan de la vue souhaitée. Le script projette les différents points sur ce plan et traduit le chemin en SVG (voir figure 7).

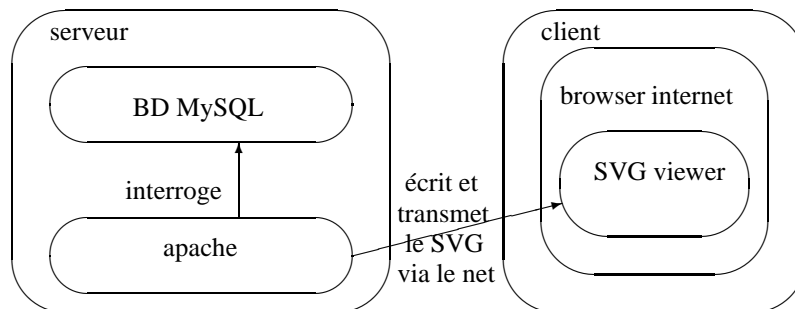


FIG. 7 – Le SIG de L'USF longskate

4.4 La légende

La légende comporte des éléments ponctuels et linéaires ainsi qu'une échelle. Chaque icône a été préalablement dessinée en SVG et est incorporée à la carte comme une référence à un élément de légende. Le tracé linéaire est le déploiement du chemin selon les points de contrôle, il est par conséquent faux mais donne une idée de la coupe de la route. Les différentes vues sont calculées par la méthode précédente, à laquelle s'ajoute un zoom pour permettre une meilleure visualisation des virages.

4.5 L'animation

Finalement l'animation présentée (disponible à l'adresse : <http://ashuf.free.fr/svg/MaCarte.html>) est un agencement de différentes vues précalculées par le script PHP.

4.6 Possibilité de \TeX ifier la carte

Il aurait été également intéressant de faire une sortie de la vue en \TeX . En effet les dessins sous \LaTeX et en SVG ont une syntaxe très proche et la qualité d'impression d'un document \TeX est plutôt remarquable [Rol99]. On peut avoir un aperçut sommaire de cette représentation sur la figure 8

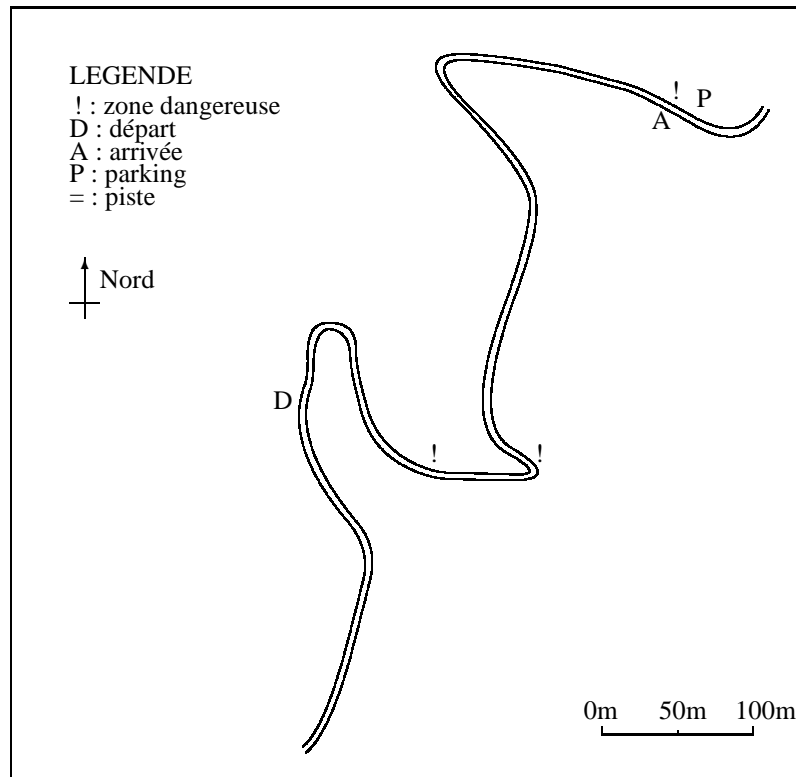


FIG. 8 – Dampierre St Nicolas, piste officielle de l'USF *longskate*

5 conclusion

Grâce à l'évolution des nouvelles technologies, il est aujourd'hui possible avec une machine bon marché et des suites de logiciels libres, de développer des applications puissantes pour un coût minimum. Reste désormais à voir l'utilisation qu'en feront les divers secteurs économiques.

Glossaire

courbes de Bézier : Les courbes de Bézier servent à dessiner des formes ou à modéliser des surfaces, en CAO ou en imagerie de synthèse. Elles sont pratiques car elles permettent de tracer des courbes compliquées à partir de seulement quelques points. (<http://www.tout-savoir.net/>)

ellipsoïde : Volume obtenu par la révolution d'une ellipse (cercle aplati).

géodésie : Science dont l'objet est de mesure la forme de la terre. (www.IGN.fr)

géoïde : Forme théorique de la Terre. (www.IGN.fr)

géomarketing : Démarche combinant des données géographiques et des modèles statistiques propres au marketing, afin d'obtenir une image du marché aussi conforme que possible à la perception des opérationnels. (<http://www.wamland.com/>)

GNU : Licence GNU : licence permettant de protéger des données libres de droit. (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>)

GPS : Global Position System, système de radionavigation à l'échelle planétaire. [Cor00]

IGN : Institut Géographique National (fr).

Lambert : Mathématicien français (1728-1777).

longskate : Plaque à roulette de grande taille (1m20) destinée à être propulsée par la gravité.

Mercator : (Gérard) Mathématicien et géographe flamand Mercator 1512-1594 [Lar79]

métalangage : Langage engendrant un autre langage.

PAC : Politique Agricole Commune, concerne l'Union Européenne.

plugin : Programme destiné à s'intégrer dans un autre programme afin de le compléter, de lui apporter de nouvelles fonctions.

script : Programme non compilé.

SIG : Système d'information géographique.

télétection : Discipline regroupant la photographie aérienne et plus récemment l'imagerie satellitaire [Rob02].

T_EX- L^AT_EX : Logiciel et langage de mise en page destiné à effectuer une impression de haute qualité (open source).

webmapping : Discipline concernant la diffusion de données géographiques sur internet [Les02].

Références

- [all] Le portail dédié aux webmasters. <http://www.allhtml.com/>.
- [Car72] H. Cartan. Théorie élémentaire des fonctions analytiques d'une plusieurs variables complexes. 5^e édition, 1972.
- [Cor00] Paul Correia. Guide pratique du GPS. Eyrolles, 2000.
- [Gas03] C. De Gastine. Cartographie, svg et archives sous xml. propos d'un navigateur averti désirant sauvegarder à coût minimum des archives contenant des cartes, des calques d'itinéraires et d'ordres de bataille. Navigation, 51(201) :44–58, 2003.
- [IGN03] Paris IGN. IGN - projections - en usage en france. <http://www.IGN.fr/>, 1997-2003.
- [Jol85] F. Joly. La Cartographie. PUF, 1985. Que sais-je ? n^o937.
- [Lar79] Petit Larousse. Larousse. 1979.
- [Les02] L. Lestrat. La diffusion cartographique sur internet. <http://geomatique.georezo.net>, 2002.
- [Pab95] J-F. Pabion. Élément d'analyse complexe. 1995.
- [Rei57] F. Reigner. Les systèmes de projection et leurs applications. 1957.
- [Rig01] P. Rigaux. Pratique de MySQL et PHP. O'REILLY, 2001.
- [Rob02] M. Robin. Télétection, des satellites aux SIG. Nathan Université, 2002.
- [Rol99] C. Rolland. L^AT_EX par la pratique. O'REILLY, 1999.
- [Ste02] J. Steinberg. Cartographie, Télétection, SIG. SEDES, 2002.