



HUGO logiciel pour cadrans bifilaires

Eric Mercier & Dominique Collin

En prolongement direct de notre étude sur les cadrans bifilaires horizontaux à fils quelconques (in Cadran-Info n°27), nous proposons ici une version plus élaborée du logiciel (HUGO, fonctionnant sur ordinateurs Macintosh avec système OSX) permettant de fournir des images de la table pour des cadrans déclinants inclinés bifilaires à fils quelconques. En dehors des paramètres de localisation, nous montrons que huit à dix paramètres géométriques sont nécessaires et suffisants pour définir ce type de cadran. Les images obtenues, d'un nombre quasi-infini, sont très variées et très originales.

HUGO : un logiciel universel de dessin des cadrans bifilaires à fils rectilignes (orientation quelconque de la table et des fils).

1) INTRODUCTION

Sur les cadrans bifilaires, l'heure est indiquée sur la table par le croisement des ombres de deux fils. Le premier cadran bifilaire, réalisé par Hugo Michnik, (1923) était horizontal et ses 2 fils répondaient à 3 critères : (1) parallèles au plan du cadran, (2) rectilignes, (3) orientés pour l'un dans la direction est-ouest et pour l'autre dans la direction nord-sud. A partir de cette configuration de base, des auteurs ont proposés de nombreux développements qui ont été synthétisés par D. Collin (2007). En nous limitant aux cas où les fils restent rectilignes, on peut citer comme exemple, Sawyer (1978) qui a étudié le tracé du cadran quand la table perdait son horizontalité, les fils gardant les mêmes caractéristiques ; ou encore Collin (2005) qui a envisagé le cas où la table reste horizontale mais les fils deviennent quelconques (non-orthogonaux et non-parallèles au cadran). D'autres études ont exploré des configurations spécifiques affectant à la fois la table et les fils mais toujours dans des cas particuliers ; par exemple Collin (2003) s'est intéressé au cadran bifilaire vertical déclinant à fils d'orientation quelconques mais parallèles à la table ; ou encore Rouxel (2004, 2007) qui a envisagé un cas particulier de cadran incliné méridional (voir *infra*).

Il semble que le cas général, avec une table d'orientation quelconque (en inclinaison et en déclinaison) et des fils non systématiquement parallèles à la table et d'orientation quelconque, n'ait jamais fait l'objet d'une étude systématique. C'est ce que nous proposons de faire dans cet article. A cette occasion, un logiciel de dessin¹, a été développé pour les ordinateurs « Macintosh » sous FUTUREBASIC². Ce logiciel expérimental, baptisé HUGO en hommage au Professeur Michnik, est fourni dans la version CD-Rom de Cadran-Info.

Cette étude fait directement suite à notre article précédent publié dans Cadran-Info n°27, qui traite du cas particulier des «cadrans solaires horizontaux bifilaires à fils quelconques » et à laquelle il sera fait souvent référence dans les lignes qui suivent.

¹ Logiciel pour ordinateur Macintosh, Système OSX.

² Voir : Mercier & Collin (2013).

2) LE CADRAN DÉCLINANT INCLINÉ BIFILAIRE À FILS QUELCONQUES

a) Cas général : les fils ne sont pas parallèles à la table

La figure 1 illustre un exemple de cadran déclinant incliné bifilaire à fils quelconques. Deux paramètres (la déclinaison et l'inclinaison^{3,4}) permettent de caractériser la position de la table. Par analogie avec ce que nous avons montré précédemment (Collin, 2005 ; Mercier & Collin 2013) nous considérons, qu'une fois le point d'origine du cadran défini (c'est le pied du fil n°1), il suffit de six paramètres supplémentaires pour décrire totalement la géométrie de l'ensemble table + gnomons (Fig. 2 et Tableau 1).

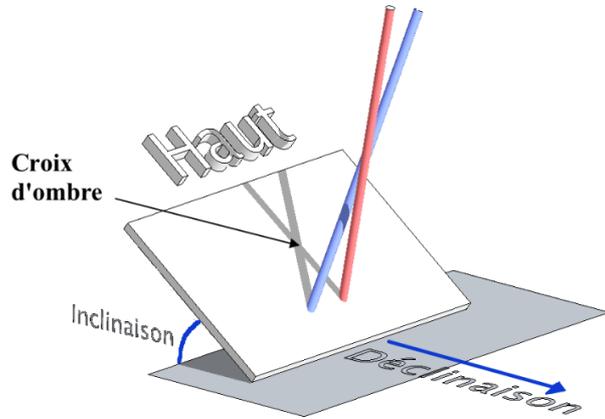


Fig : 1 Exemple de cadran déclinant incliné bifilaire à fils quelconques. L'heure est indiquée sur la table par le croisement des ombres des fils (gnomons). Le diamètre de ceux-ci a été exagéré pour faciliter la compréhension des schémas.

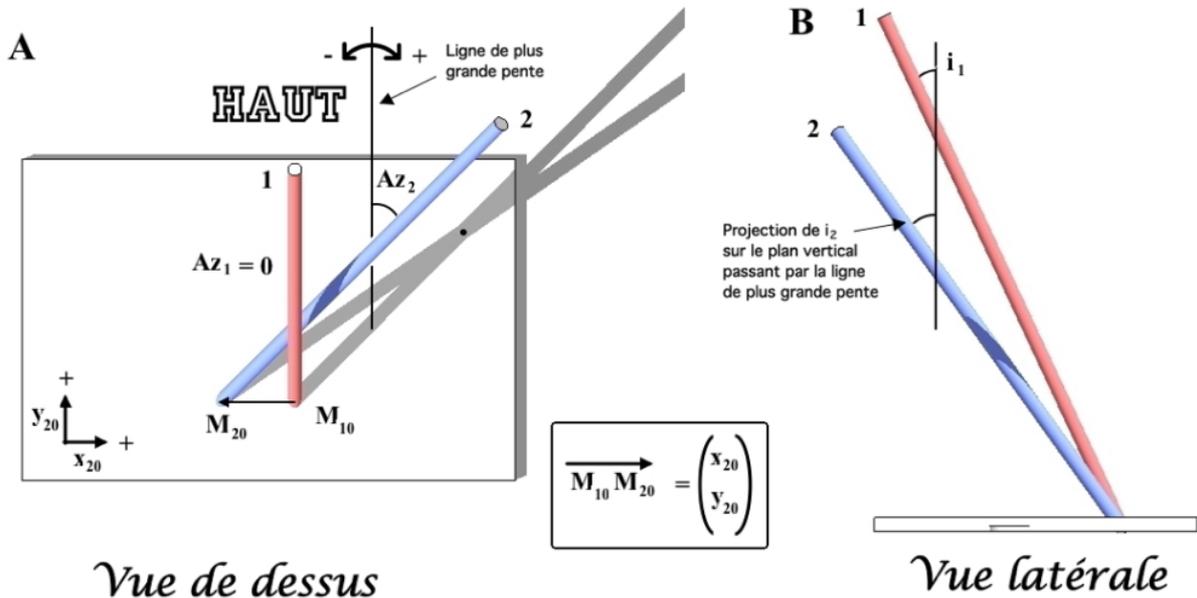


Fig : 2 Vue de dessus (A) et vue d'un des côtés (B) permettant d'illustrer les 6 paramètres supplémentaires du cadran (même cadran que la figure 1 ; voir aussi le Tableau N°1). Les conventions de signe pour Az1, Az2, x20 et y20 sont indiqués sur la figure ; i1 et i2 sont positifs. Le référentiel de ces six paramètres est tel qu'une modification de l'inclinaison ou de la déclinaison (fig.1) est sans effet sur les valeurs des autres paramètres. Dans cet exemple Az1 et y20 sont nuls.

³ L'inclinaison est comprise entre 0 et 90° (voir tableau 1), les cadrans « déversants » (face orientée vers le sol) ne sont donc pas traités ici.

⁴ Dans son domaine de définition [0° , 90°], le paramètre « inclinaison » est égal au paramètre « z », distance zénithale de la normale au plan du cadran, utilisé classiquement en gnomonique (Savoie, 1997).

Paramètres :	Description :
<input checked="" type="checkbox"/> Paramètres angulaires de la table (fig.1): <i>déclinaison</i> <i>inclinaison</i>	<i>(dans le référentiel local)</i> De 0° à 90°.
<input checked="" type="checkbox"/> Paramètres angulaires des gnomons (fig. 2): Az_1 Az_2 i_1 i_2	<i>(dans le référentiel du cadran)</i> Angle que forme la projection du premier gnomon sur la table, avec la ligne de plus grande pente (compté positivement depuis le haut dans le sens horaire). Idem pour le deuxième gnomon. Co-inclinaison du gnomon 1 par rapport à la table. Idem pour le gnomon 2.
<input checked="" type="checkbox"/> Paramètres métriques des gnomons (fig. 2): x_{20} y_{20}	<i>(dans le référentiel du cadran)</i> Abscisse de l'implantation du deuxième gnomon. Ordonnée de l'implantation du deuxième gnomon.

Tableau 1 : Les huit paramètres définissant les systèmes bifilaires étudiés dans le cas général (voir Collin 2005, et Mercier & Collin 2013).

b) Cas particulier : un ou deux fils sont parallèles à la table

La figure 3 illustre le cas où un des fils (par convention, il s'agit du fil n°1) est d'orientation quelconque mais parallèle à la table. Dans ce cas $i_1=90^\circ$; et il faut introduire un nouveau paramètre qui est la distance entre le fil et la table, mesurée orthogonalement à cette dernière et notée d_1 . Le point M_{10} devient totalement arbitraire et n'a pas de signification particulière par rapport au fil n°1.

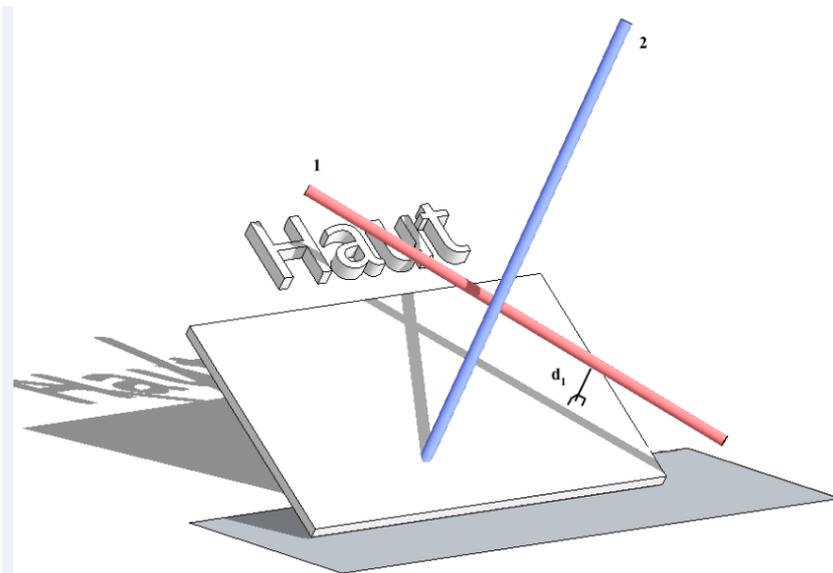


Fig : 3 Exemple de cadran déclinant incliné bifilaire avec le fil n°1 d'orientation quelconque mais parallèle à la table et situé à une distance d_1 de celle-ci.

Paramètres :	Description :
<input checked="" type="checkbox"/> Paramètres du cas général (fig.2): <i>déclinaison</i> <i>inclinaison</i> Az_1 Az_2 $i_1=90^\circ$ i_2 x_{20} y_{20}	 <p style="text-align: center;">Voir tableau n° 1</p>
<input checked="" type="checkbox"/> Nouveau paramètre (fig.3): d_1	<p>Distance entre le gnomon 1 et la table, mesurée orthogonalement à cette dernière.</p>

Tableau 2 Les paramètres définissant les systèmes bifilaires étudiés quand le fil n°1 est parallèle à la table.

De la même façon, si les deux fils sont parallèles à la table, nous avons : $i_1=90^\circ$ et $i_2=90^\circ$; et les positions des fils sont définies par les deux paramètres d_1 et d_2 . Notons qu'alors le point M_{20} , qui n'a pas de signification particulière, peut avantageusement être confondu avec M_{10} , ce qui se traduit par $x_{20} = 0$ et $y_{20} = 0$.

Paramètres :	Description :
<input checked="" type="checkbox"/> Paramètres du cas général (fig.2): <i>déclinaison</i> <i>inclinaison</i> Az_1 Az_2 $i_1 = 90^\circ$ $i_2 = 90^\circ$ $x_{20}=0$ $y_{20}=0$	 <p style="text-align: center;">Voir tableau n° 1</p>
<input checked="" type="checkbox"/> Nouveau paramètre : d_1 d_2	<p>Distance entre le gnomon 1 et la table, mesurée orthogonalement à cette dernière.</p> <p>Idem pour le gnomon 2.</p>

Tableau 3 : Les paramètres définissant les systèmes bifilaires étudiés quand les deux fils sont parallèles à la table.

3) LE PROGRAMME DE DESSIN ET LES FILTRES

A l'occasion de notre étude précédente (Mercier & Collin, 2013) nous avons développé un premier logiciel construit autour d'une routine élaborée à partir d'un algorithme d'Yvon Massé (1997-2012). Cette routine permet de calculer la position de l'ombre de la pointe d'un style droit sur un cadran horizontal. Or, il se fait que l'algorithme en question est également opérationnel pour les cadrans déclinants inclinés. L'adaptation du « cœur » de notre ancien programme pour prendre en compte le cas des cadrans déclinants inclinés correspond donc à une évolution relativement légère. Celle-ci a pour but d'exploiter de cette fonctionnalité de l'algorithme d'Yvon Massé.

Par ailleurs, les cas particuliers des fils parallèles à la table se gèrent facilement en introduisant, non pas deux, mais 3 ou 4 « piliers » dans l'algorithme détaillé à la figure 3 de Mercier & Collin (2013).

Le principe du programme est de calculer, en boucle, la position de la croix d'ombre à chaque instant du jour à des dates choisies pour dessiner les arcs-diurnes et, chaque jour de l'année à des heures choisies pour dessiner les courbes en « 8 ». Avant chaque incrément de la routine de dessin, le calcul de la position de la croix d'ombre est confronté à deux filtres successifs. Le premier filtre vérifie que le Soleil éclaire effectivement la table du cadran. Le second vérifie que le rayon de Soleil a bien été intercepté par les deux fils *avant* de frapper la table ; ou en d'autres termes, les fils sont bien au-dessus de la table (voir Mercier & Collin 2013).

a) Le premier filtre

Par rapport à notre étude précédente, le premier filtre a dû être adapté pour tenir compte de l'inclinaison du cadran.

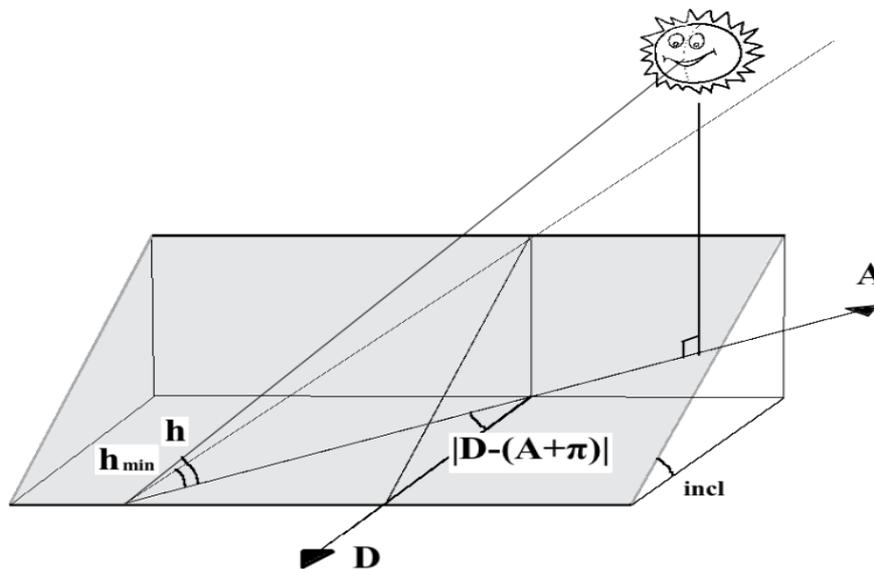


Fig : 4 Schéma illustrant les relations angulaires sur lesquelles est basé le premier filtre.

On constate, sur la figure 4, que si :

$$(1) \quad D - \pi/2 < A < D + \pi/2 ,$$

alors, il suffit de vérifier que le Soleil est levé et n'est pas encore couché, pour être assuré qu'il éclaire la table. Dans le cas où la relation (1) n'est pas vérifiée, et pour que l'éclairement du Soleil soit effectif, il faut que :

$$(2) \quad \text{tg } h > \text{tg } h_{min} ,$$

c'est à dire :

$$(3) \quad \text{tg } h > \text{tg } incl . \cos (|D - (A + \pi)|) ,$$

avec : D = déclinaison du cadran ; $incl$ = inclinaison du cadran ; A = azimut du Soleil ; h = hauteur du Soleil ; h_{min} = pente apparente de la table dans la direction de A .

b) Le second filtre

La problématique du second filtre est complètement différente selon qu'il y a : 0, 1 ou 2 fils parallèles à la table du cadran.

- Si aucun fil n'est parallèle à la table, alors le second filtre est strictement analogue à celui que nous avons détaillé dans notre article précédent (Figure 6 et annexe *in* Mercier & Collin 2013).
- Si un des fils est parallèle à la table du cadran ; comme déjà souligné, nous considérons qu'il s'agit du fil n°1. Ce fil est assimilable à une droite et non plus à une demi-droite. Le filtre 2 devrait donc être réécrit. Mais, au niveau du code, il apparaît qu'une solution particulièrement simple et élégante est suffisante. Elle consiste à utiliser deux fois de suite le filtre 2 non modifié avec, lors du second passage, le remplacement de « α » (alpha) par « $\alpha + \pi$ » (alpha + pi) (pour la signification de cette variable : voir la figure 6, et le code du filtre 2 en annexe, *in* Mercier & Collin 2013).
- Si les deux fils sont parallèles à la table du cadran, le second filtre est inutile dans la mesure où les fils (même de longueur infinie) ne peuvent pas passer sous la table.

4) VALIDATION DU PROGRAMME

Le logiciel décrit ici est basé sur des calculs incrémentaux qui échappent à l'analyse géométrique formelle utilisée habituellement par les gnomonistes théoriciens. Il est donc nécessaire de valider la méthode. Dans notre étude précédente sur les cadrans bifilaires horizontaux, nous avons pu comparer nos résultats avec le travail théorique de Collin (2005) qui avait le même contour. Vu le caractère novateur de la présente étude, une telle démarche globale est impossible. Nous nous sommes donc attaché à reproduire les cas particuliers déjà publiés qui rentrent dans le vaste périmètre de notre étude. Ainsi, et sans rentrer dans le détail, nous avons pu :

- reproduire le tracé des cadrans bifilaires verticaux déclinants à fils orthogonaux (Collin 2000) (voir Mercier 2012-2013 et voir Fig. 7A*) ;

- reproduire le tracé des cadrans bifilaires verticaux déclinants à fils d'orientation quelconques mais parallèles au cadran (Collin 2003) (voir Fig. 7B*) ;
- ou, comme chacun pourra le vérifier : reproduire le tracé des cadrans bifilaires horizontaux à fils quelconques⁵ (Collin 2005, Mercier & Collin 2013) ;
- enfin, et c'est sans doute le plus significatif : reproduire le tracé du cadran de Rouxel (2004, 2007) qui est l'association de deux cadrans bifilaires polaires⁶ (un pour le matin, un pour l'après-midi ; Fig. 5).

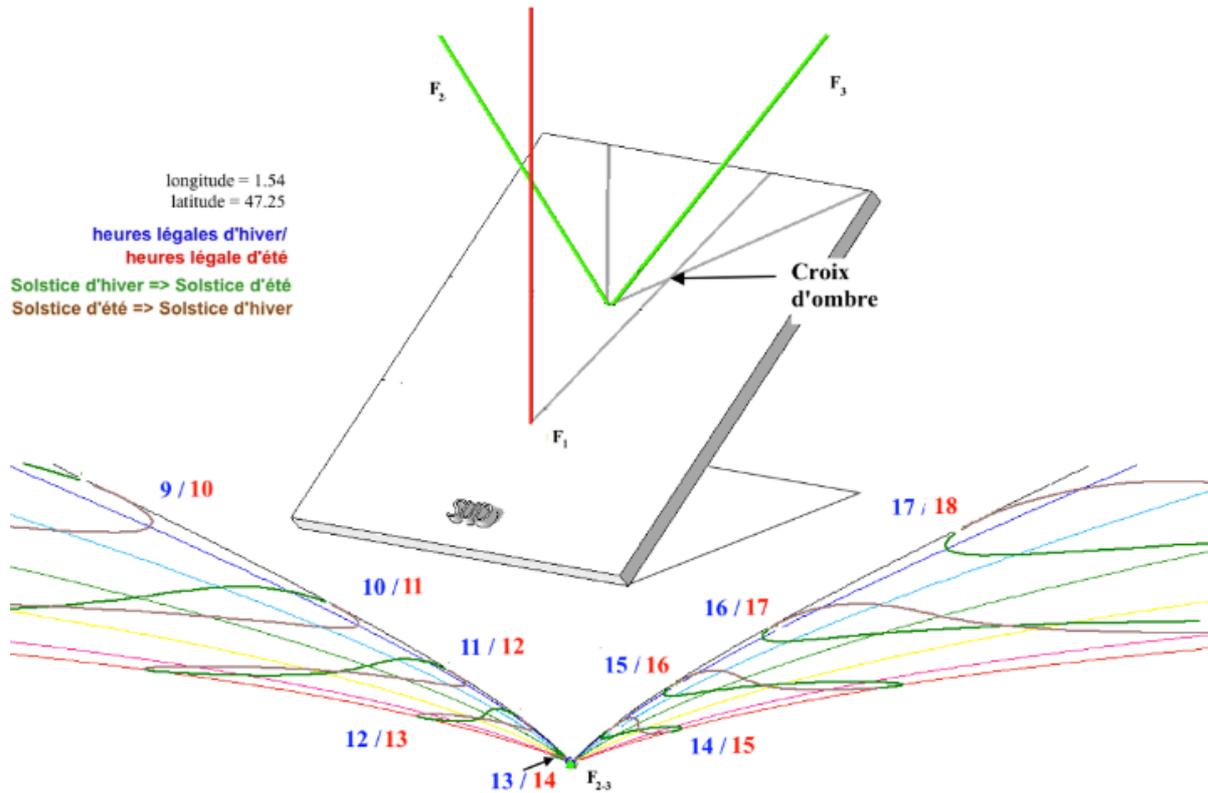


Fig : 5 Le cadran de Rouxel (2004, 2007) et le tracé de la table réalisée en deux fois (cadrans F_1 - F_2 , puis F_1 - F_3) avec le logiciel décrit ici. Notons que le tracé que nous avons choisi de reproduire ici diffère du tracé original qui est en heures vraies (lignes horaires horizontales). Par ailleurs, et comme l'avaient déjà constaté Collin (2005) et Ferrari (com. écrite de B. Rouxel 2012), la partie balayée par la croix d'ombre au cours de l'année est beaucoup plus réduite que ne le suggère le tracé originel de B. Rouxel.

Par ailleurs, si l'on fait en sorte que les deux fils se touchent, par exemple en posant :

$$Az_1 \neq Az_2 ; i_1 = i_2 = 90^\circ ; d_1 = d_2$$

on peut vérifier que le logiciel dessine correctement tous les cadrans « classiques » horizontaux, inclinés ou verticaux, méridionaux ou déclinants et à style droit ou polaire ; le point de croisement des fils correspondant à la pointe du style.

⁵ Le logiciel de cadrans horizontaux est en annexe du CD-Rom de Cadran-Info n°27.

⁶ Ce cadran a été primé au concours international biennuel de cadraniers "El ombre del tiempo" en 2005.

5) LES TRACES OBTENUS

Le dessin des cadrans étudiés ici (Fig. 6, 7 et 8) est contrôlé par une petite dizaine de paramètres fondamentaux en dehors des coordonnées géographiques (tableaux 1, 2 et 3). Si l'on considère que les angles peuvent varier par incrément de 5° seulement, et les distances par incrément de 50 pixels, on obtient plus de 1 000 milliard de combinaisons de paramètres ($1,01 \times 10^{12}$) soit autant de cadrans solaires *a priori* différents pour un seul lieu. Il est vrai que dans beaucoup de ces cas, le domaine balayé par la croix d'ombre est très petit, et ne correspond qu'à une partie très réduite, voire nulle, de l'année. Par ailleurs, chaque cadran déclinant possède son cadran symétrique. En fait, le nombre réel de cadrans potentiels ne représente qu'une fraction (non-évaluable) du chiffre proposé précédemment. Quoiqu'il en soit, même si chacun de ces cas peut être dessiné par notre logiciel, ainsi que tous les intermédiaires (!), l'étude rationnelle d'une telle diversité est, hélas, hors de notre portée.

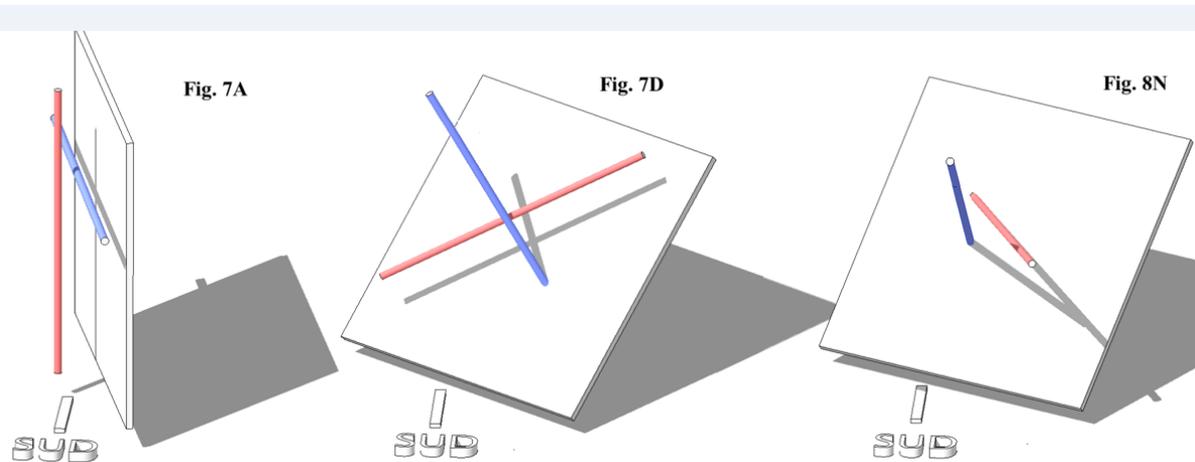


Fig : 6 Sélection de cadrans des figures 7 et 8 illustrant certaines configurations : vertical ou inclinés déclinants ; avec 2, 1 ou 0 fils parallèles à la table.

Les figures 7 et 8 sont en fin d'article.

Tout au plus, nous pouvons signaler que, comme pour les cadrans horizontaux, le domaine de balayage de la croix d'ombre peut être scindé en 2 voire 3 domaines indépendants.

Quand aux problèmes de la nature et de la forme géométrique que peuvent prendre les lignes horaires et les arcs-diurnes dans de tels cadrans bifilaires, une étude est en cours (Collin, en préparation).

6) CONCLUSIONS

Comme nous l'avons signalé incidemment, le logiciel HUGO est apte à dessiner toutes sortes de cadrans « classiques » à style droit : horizontaux, inclinés ou verticaux, méridionaux ou déclinants. Il constitue donc un des très rares outils informatiques fonctionnant sur « Macintosh » permettant de tels dessins (le seul ?). Il est également à ce jour, jusqu'à preuve du contraire, le seul, toutes plateformes confondues, qui permet de dessiner des cadrans

bifilaires à table et à fils rectilignes quelconques. Les algorithmes de bases et ceux des filtres sont fournis dans cet article et dans le précédent (Mercier & Collin 2013). Nous espérons que dans un proche avenir, ceux-ci puissent être intégrés dans des logiciels à interface moins rudimentaire et tournant sur d'autres plateformes...

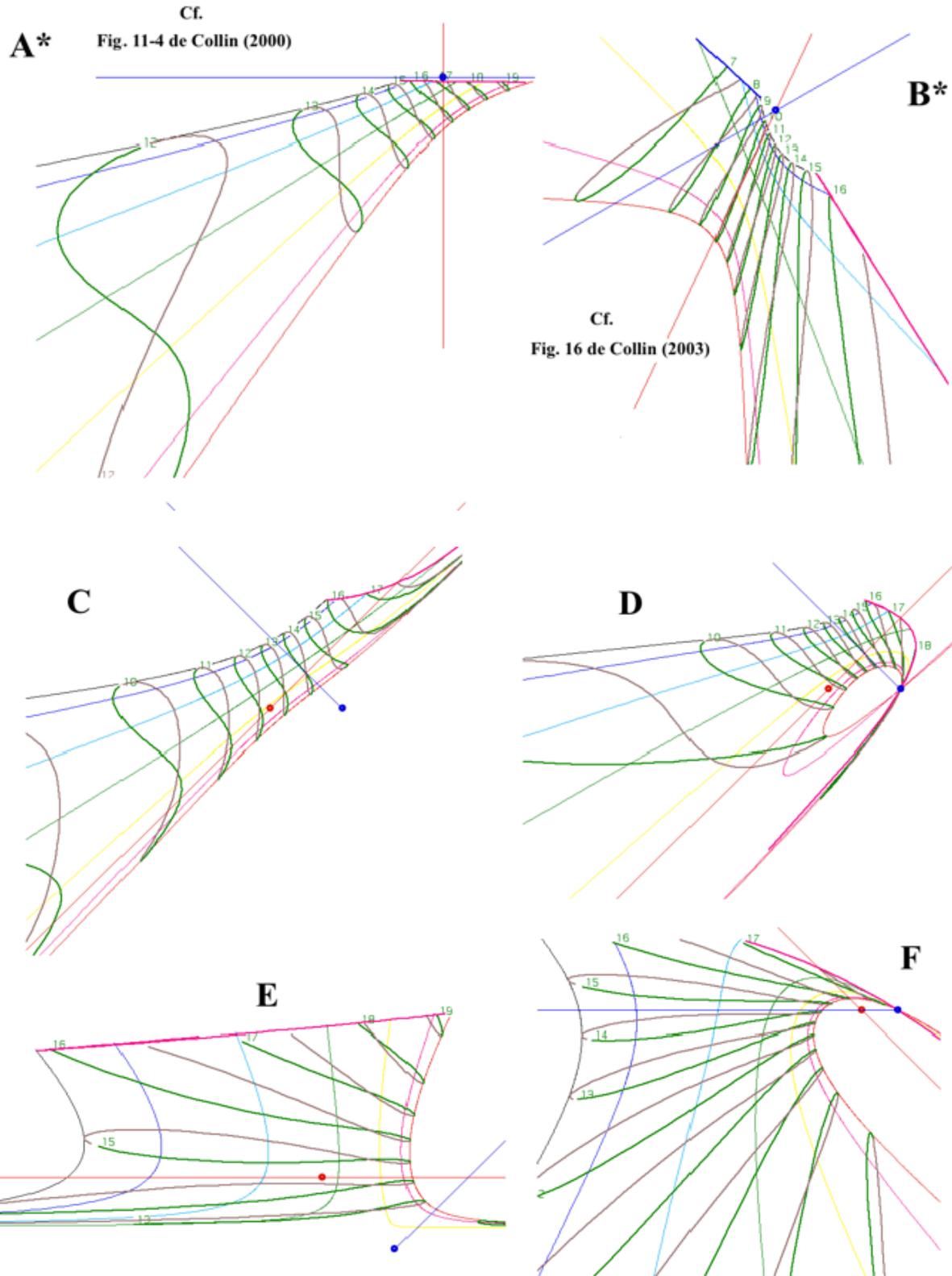
Selon Opizzo (1998), le développement de la gnomonique passe, notamment, par les cadrans bifilaires « aux possibilités exceptionnelles, tant sur le plan de la technique que de l'esthétique ». Nous espérons que les figures 7 et 8 du présent article (et la figure 8 de Mercier & Collin 2013, publiée dans le précédent numéro de Cadran-info) ainsi que quelques manipulations sur le logiciel proposé, aideront le lecteur à s'en convaincre. Le présent travail ne règle pas tous les problèmes liés aux cadrans bifilaires, loin s'en faut ! En effet, seuls les cadrans à fils rectilignes sont pris en compte, même si c'est de façon exhaustive (voir Collin 2007, pour la liste et la bibliographie de quelques autres configurations possibles). Par ailleurs, même dans ce cas particulier des fils rectilignes, il est clair que l'exploration des formes et des propriétés des tracés reste à réaliser entièrement⁷.

REFERENCES

- ° Collin D. (2000) ; *Théorie sur le cadran solaire bifilaire vertical déclinant*. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, 94, p. 95-111.
- ° Collin D. (2003) ; *Les cadrans solaires verticaux à deux gnomons rectilignes quelconques [généralisation des cadrans bifilaires de Michnik]*. Observations & Travaux, n°55, p. 12-31.
- ° Collin D. (2005) ; *Vers une finalisation des cadrans bifilaires à fils rectilignes*, Cadran-Info n°13, annexe.
- ° Collin D. (2007) ; *Cadrans bifilaires (1923 à 2007)*, Cadran-Info n°16, p. 6-10.
- ° Massé Y. (1997-2012) ; Codes en Basic « *Ephéméride pour gnomoniste* » et « *Calcul des heures de passage au méridien / lever / coucher du soleil* ». <http://yvon.masse.perso.sfr.fr/gnomon/>
- ° Mercier E. (2012-2013) ; Page web de présentation d'un cadran solaire et de ses variantes possibles (http://studios-nantes.pagesperso-orange.fr/Le_cadran_solaire.html).
- ° Mercier E. & Collin D. (2013) ; *Un nouveau logiciel de dessin des cadrans solaires horizontaux bifilaires à fils quelconques*. Cadran-Info n°27, p. 102-113.
- ° Michnik H. (1923) ; *Theorie einer Bifilar-Sonnenuhr*, Astronomische Nachrichten, 217 (5190), p. 81-90. (Une traduction par D. Collin est disponible dans l'Annexe du CD Cadran-info N°15 (Traductions_TOME_1.pdf)).
- ° Opizzo Y. (1998) ; *Les ombres du temps*. Burellier éd. 114 p.
- ° Rouxel B. (2004) ; *Cadrans bifilaires, étude géométrique*, Cadran-Info, n°9.
- ° Rouxel B. (2007) ; *Bifilar Sundials*, The compendium, v.14, n°2, p. 5-11.
- ° Savoie D. (1997) ; *Gnomonique moderne*, Editions SAF
- ° Sawyer F.W. (1978) ; *Bifilar gnomonics*, JBAA (Journal of the British Astronomical association), 88(4):334-351 (une traduction par D. Collin est disponible dans Cadran-Info n°15).

⁷ Les auteurs seront reconnaissants aux utilisateurs du logiciel qui leur transmettraient toutes observations originales.

Figures 7



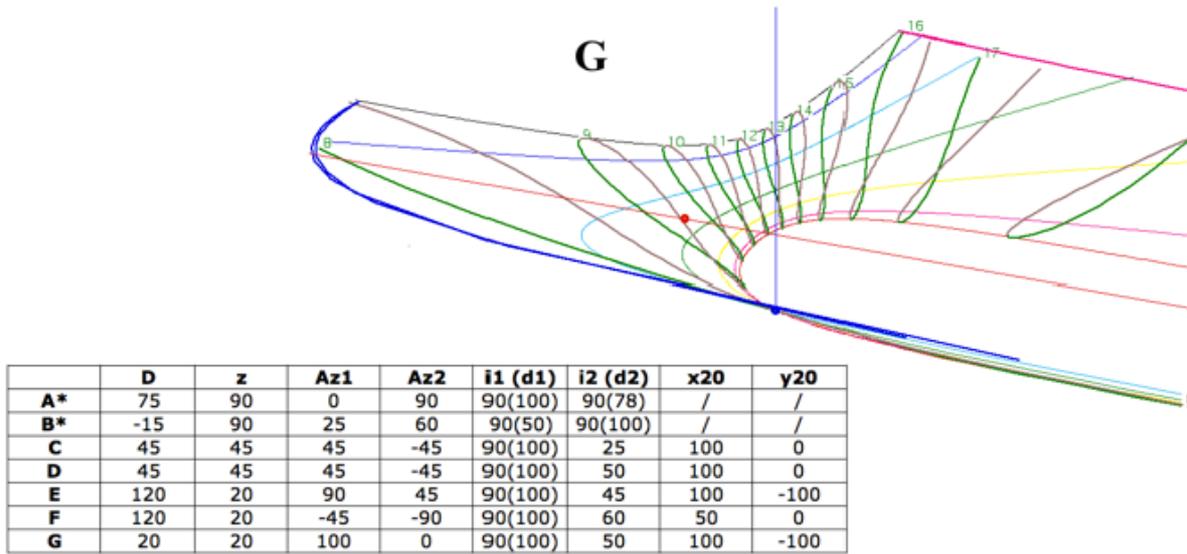
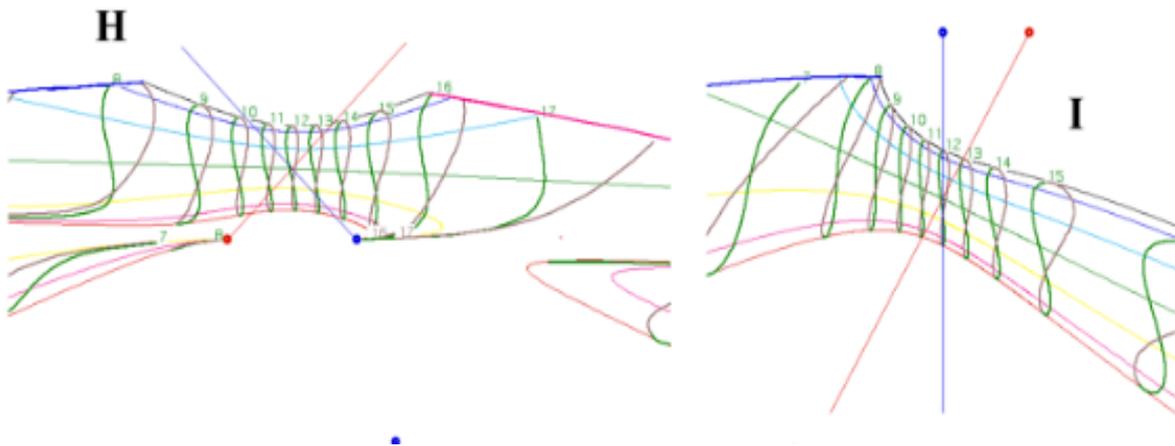
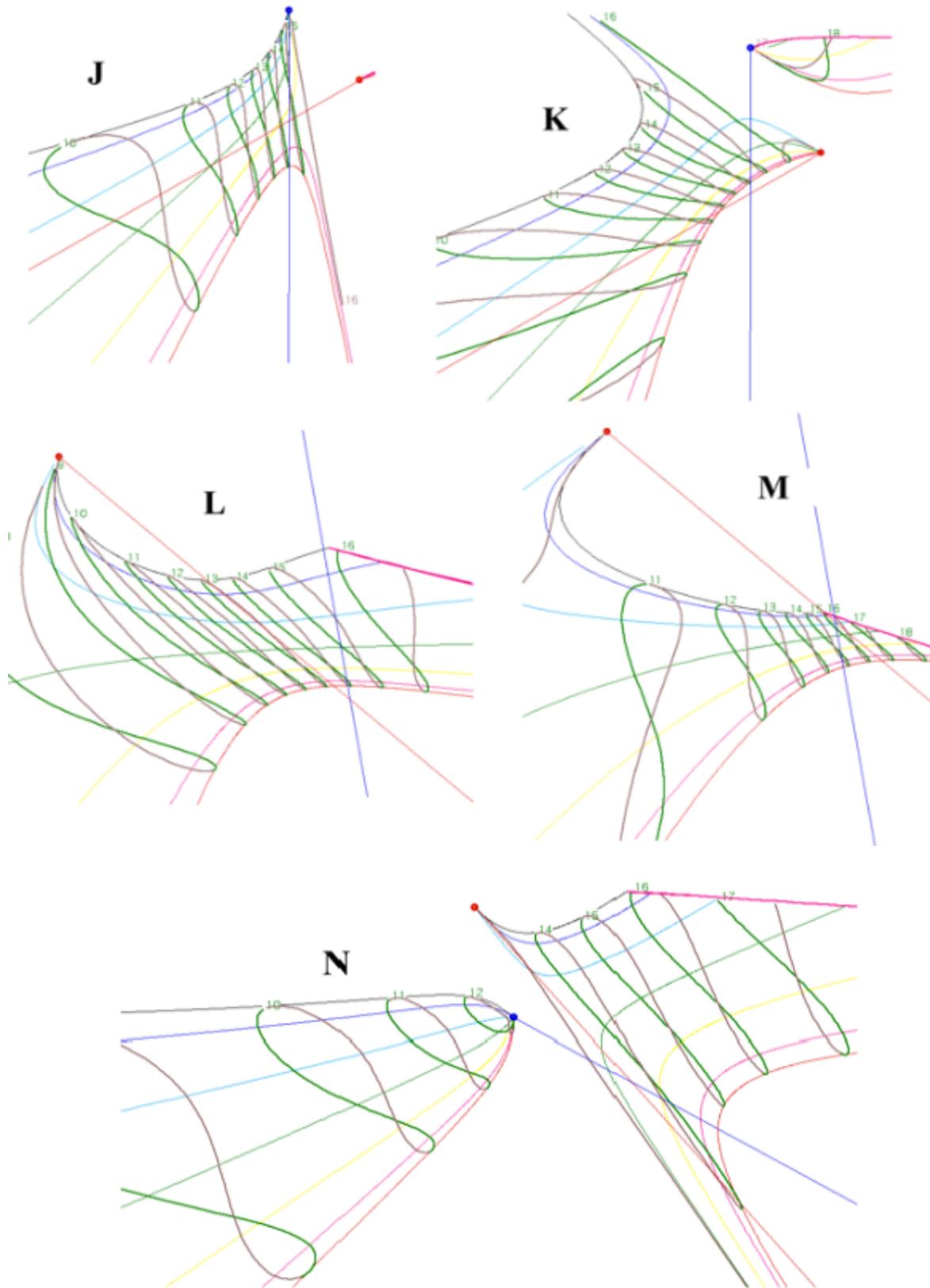


Fig 7 : Quelques exemples de tracé de cadrans avec deux (A* et B*) ou un (C à G) fils parallèles à la table. Les cadrans A* et B*, verticaux, correspondent à des cadrans déjà publiés et qui sont redessinés ici pour validation du logiciel (les références de la publication originale sont indiquées à côté du cadran). Les arcs de déclinaison correspondent aux changements de signe du zodiaque (couleurs froides pour l'hiver, chaudes pour l'été, la ligne d'équinoxe est en vert). Sur les « 8 » horaires, le vert correspond à la période du solstice d'hiver au solstice d'été ; le marron au reste de l'année. Les traits en gras correspondent aux heures de lever du Soleil + 1/2 heure (bleue) et coucher du Soleil -1/2 heure (rouge). Les droites fines rouge et bleue correspondent à la projection des fils sur la table du cadran.

Figures 8





	D	z	Az1	Az2	i1	i2	X20	y20
H	0	45	45	-45	45	47	150	0
I	0	45	-150	180	60	62	-100	0
J	60	45	-120	180	20	62	-100	100
K	60	20	-120	180	60	62	-100	150
L	60	20	130	-190	80	75	150	150
M	60	80	130	-190	80	75	250	150
N	35	45	-220	120	45	15	50	-150

Fig 8 : Quelques exemples de tracé de cadrans méridionaux ou déclinants vers l’Ouest avec les deux fils obliques par rapport à la table du cadran (même légende que pour la figure 6).

⇒ Dans la version numérique, vous trouverez en annexe (dossier log_Tab_HUGO)

°"Tableau et fig article" (tif) comprenant également le logiciel "HUGO-0.4c(diff)zip



Un magnifique nocturlabe

En couverture de LA GAZETTE DROUOT du 14 juin 2013...



une magnifique pièce de Hans Christoph Schissler en laiton et bronze doré.
Terrasse en marbre noir signé et daté

1625. Hauteur 19,7 cm; diamètre du nocturlabe 7,8 cm.

La figure d'Atlas sur l'astrolabe géographique soutient le nocturlabe et le calendrier lunaire. L'ensemble s'ouvre ou se sépare pour donner accès à un calendrier astronomique et à un cadran solaire horizontal à style pliant.

Le seul autre compendium de Schissler connu est conservé à Florence au Musée de l'Histoire de la Science

Estimation 50 000 à 80 000€.

Information de Bernier Antoine