Approche géométrique des centuriations romaines. Les nouvelles bornes du Bled Segui

Lionel R. Decramer, Rachid Elhaj, Richard Hilton et Alain Plas

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/histoiremesure/903>

DOI : 10.4000/histoiremesure.903

ISSN : 1957-7745

Éditeur

Éditions de l'EHESS

Édition imprimée

Date de publication : 2 janvier 2002

Pagination : 109-162

ISBN : 2-222-96722-8

ISSN : 0982-1783

Référence électronique

Lionel R. Decramer, Rachid Elhaj, Richard Hilton et Alain Plas, « Approche géométrique des centuriations romaines. Les nouvelles bornes du Bled Segui », *Histoire & mesure* [En ligne], XVII - 1/2 | 2002, mis en ligne le 15 novembre 2005, consulté le 02 juin 2022. URL : <http://journals.openedition.org/histoiremesure/903> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/histoiremesure.903>

Ce document a été généré automatiquement le 2 juin 2022.

© Éditions de l'EHESS

Approche géométrique des centuriations romaines. Les nouvelles bornes du Bled Segui

Lionel R. Decramer, Rachid Elhaj, Richard Hilton et Alain Plas

- 1 La « centuriation » [*centuriatio*] consiste en la délimitation d'un territoire [*limitatio*] d'une certaine ampleur, ce qui la différencie d'un lotissement agricole local (partage d'une terre) ou d'une « castramétation » (construction d'un camp ou d'une ville). Ces trois spécialités bien qu'utilisant des principes semblables n'ont pas la même finalité. En d'autres termes, c'est différencier l'œuvre du géodésien-géomètre, de celle de l'arpenteur-harpidonapte ou encore de l'aménageur-architecte. Les cadastres sont par nature des constructions géométriques. Or, selon le philosophe M. Serres¹ :

« Il n'y a d'histoire vraie que de la géométrie, voie de communication quasi parfaite, cas exceptionnel et sans doute paradoxal, de l'histoire au sens ordinaire. Plus un savoir va vers le pur et le rigoureux, mieux il se conserve et plus aisément il transmet par le temps ses contenus inchangés ».

- 2 On devrait donc pouvoir par l'emploi de la géométrie euclidienne éviter, d'une part, les problèmes de la *déformation* du temps – qui s'applique aussi bien aux textes qu'aux parcellaires –, d'autre part, utiliser ses méthodes pures et rigoureuses pour analyser leurs contenus et établir des modèles géométriques prédictifs de recherche. C'est l'approche qui sera choisie pour clarifier au moins certaines pratiques.

1. Principes généraux : la géodésie géométrique

- 3 La science du *finitor*², c'est l'art de mesurer la terre ou géodésie (du grec, γη δαιω = je divise la terre)³. Cette science appliquée touche aux mathématiques, à l'astronomie, à la métrologie et à la géographie, toutes disciplines qui interviennent dans l'art du *finitor*. Le but utilitaire de la géodésie est de déterminer avec le plus de précision possible les coordonnées d'un certain nombre de points (géodésiques), servant de charpente ou d'ossature aux levés topographiques pour l'établissement de la carte.
- 4 Pour ce faire, le géodésien moderne⁴ choisit sur le terrain des points élevés, visibles entre eux qu'il relie par des visées *formant* des triangles dont on mesure les angles.

C'est le réseau de triangulation. Mais la mesure des angles ne suffit pas pour avoir la grandeur des figures, leur orientation et leur position sur la surface terrestre. Pour situer ce réseau géodésique sur la Terre, il suffit de déterminer les coordonnées géographiques d'un sommet de la triangulation au moyen d'observations astronomiques, c'est le point fondamental ou *datum*. On définit, ainsi, sa latitude géographique ou astronomique et sa longitude repérée par rapport à un méridien d'origine (méridien de Greenwich). De plus, pour orienter le triangle de base (ABC), on doit mesurer l'azimut géographique d'un de ses côtés (de A vers B). Enfin, pour connaître les longueurs, on choisit une base rectiligne assez grande que l'on mesure au sol le plus précisément possible et que l'on incorpore au réseau de triangulation. On peut, alors, calculer la longueur de tous les côtés connaissant leurs angles au sommet. Ainsi, de proche en proche, chaque point géodésique est parfaitement déterminé.

- 5 En Tunisie (cf. Figure 1, pour l'ancienne triangulation), le point fondamental ou *datum* est Carthage (la cathédrale Saint-Louis), la base a été mesurée dans la plaine de Tunis et l'ensemble du territoire est couvert par un réseau de triangles. Il existe, ainsi, un réseau dit de premier ordre dont les sommets sont des points culminants régionaux. Distants en moyenne de quelques dizaines de kilomètres, ils prennent appui généralement sur des stations astronomiques. Ensuite, vient se greffer un canevas plus serré, par des réseaux de 2^e et 3^e ordre, etc. En général, les réseaux de 2^e et de 3^e ordre sont observés en triangles complets. Le calcul par juxtaposition de triangles entraîne nécessairement une propagation des erreurs angulaires ; celle-ci est compensée régulièrement par une réorientation (triangles d'orientation⁵). De la même façon, il y a propagation des erreurs de distance ; il est donc nécessaire d'arpenter une nouvelle base (base de Médénine dans le Sud tunisien⁶). Ces principes ayant été rappelés, qu'en est-il des méthodes utilisées dans l'Antiquité ?

Figure 1. La triangulation de la Tunisie (source : IGN) [cliquer pour afficher]

Les centuriations romaines

- 6 Les principes généraux de construction des centuriations sont connus, en partie, par certains textes anciens et par l'étude des parcellaires quadrillés. On rappellera très simplement que la limitation est un carroyage tracé sur le terrain à partir d'un point d'origine, le *locus gromae*, selon un système d'axes orthogonaux *kardo maximus* et *decumanus maximus* orientés judicieusement dans l'espace. Ce quadrillage, carré ou rectangulaire, est construit selon une unité de longueur, un nombre entier de pieds (*pes*) ; il est matérialisé, sur le terrain, par des bornes ou des jalons. Ensuite, en fonction des besoins, le géomètre trace une voie, des limites de champs ou des frontières qui s'intègrent dans cette grille. Cet espace mesuré sur le terrain au sens géographique du terme est ensuite reporté sur une carte ou *forma*.
- 7 Ces principes sont comparables aux principes de notre géodésie classique. On dira que le *locus gromae* est le *datum* des Romains, que les axes majeurs (*maximus*) sont équivalents aux axes méridien et parallèle au point d'origine, que leur orientation correspond à l'azimut géographique du triangle de base et que le carroyage romain est à rapprocher de la triangulation. On devrait donc pouvoir, pour chaque parcellaire, définir ses quatre paramètres fondamentaux : les coordonnées du *locus gromae* (longitude et latitude), l'azimut de son orientation (par rapport au nord géographique), et son module linéaire : le côté de la centurie (2 400 *pedes* ou 20 *actus*).

- 8 À partir des vestiges du parcellaire quadrillé, il est possible de reconnaître une centuriation sur le terrain selon deux méthodes :
- 9 - Première méthode : la mise en évidence au moyen de cartes, de vues aériennes ou spatiales du carroyage faisant apparaître des alignements récurrents et orthogonaux. Cette étude est suivie, en général, d'une vérification approfondie sur le terrain. C'est la méthode la plus fructueuse et la plus pratiquée.
- 10 - Seconde méthode : la découverte de bornes de délimitation placées par le géomètre. C'est la méthode la plus fiable mais aussi la plus rare, la plupart des bornes ayant disparu ou ayant été déplacées. On ne connaît à ce jour qu'un seul exemple avéré, la grande centuriation tunisienne.

Les interrogations

- 11 La liste des centuriations répertoriées dans l'ancien monde romain ne cesse de s'allonger et plusieurs atlas de ces centuriations ont été établis⁷. Cependant, on ne peut pas dire que tous ces cadastres sont parfaitement définis, en particulier la localisation formelle du *locus gromae* est très rare. Elle reste encore hypothétique pour les cadastres d'Orange ou de Campanie alors que des éléments d'une *forma* ou d'une borne écrite⁸ ont été retrouvés. De la même façon, il est souvent difficile d'annoncer avec certitude dans la lecture d'un tracé de lignes orthogonales sur une carte ou sur le terrain, lequel de ces alignements représente le *kardo maximus*, comme il existe une part d'arbitraire dans la définition de son azimuth. Les textes anciens sont parfois contradictoires à ce sujet : *kardo* orienté vers l'est ou l'ouest ? *Decumanus* vers le sud ou selon la plus grande distance ? Cadastre « retourné »⁹ ? Enfin, et ceci n'est pas la moindre des difficultés, l'unité de longueur utilisée pose problème, la centurie pouvant varier de 700 à 710 m, voire au-delà selon la valeur du module de 20 *actus*.
- 12 Autant les méthodes de travail des géodésiens modernes paraissent claires et rigoureuses – elles s'appuient nécessairement sur une longue expérience –, autant certaines méthodes utilisées par les arpenteurs romains du moins telles qu'elles sont parfois exposées, semblent approximatives, irréalistes ou simplement contradictoires. On tentera, donc, de clarifier au moins certains points en s'appuyant sur la grande centuriation de Tunisie.

2. La grande centuriation tunisienne

- 13 Cette centuriation a une extension de 254 km de long sur 110 de large, c'est-à-dire qu'elle occupe une superficie équivalente à tout le Languedoc. Elle s'étend de la région d'*Ammaedara* (Haïdra), aux confins tuniso-algériens, jusqu'aux frontières (*limes*) méridionales de la Proconsulaire, au sud-est de la région des grands Chotts (cf. Figure 2). Elle a été réalisée par la III^e légion *Augusta* stationnée justement à *Ammaedara*, et elle aurait été exécutée par le proconsul de l'Afrique romaine C. Vibius Marsus, sous le règne de Tibère¹⁰. Cette centuriation est connue pour l'essentiel¹¹ par des bornes gromatiques trouvées en place par des officiers topographes. Elle s'apparente nettement à des travaux géodésiques ou à un levé de carte d'état-major réalisé par des militaires aux marches de leur Empire.

Figure 2. Carte de la grande centuriation : ses axes cardinaux et son carroyage [cliquer pour afficher]

Les travaux antérieurs

- 14 On doit au capitaine Donau¹², le commandant du cercle de Kebili et à ses officiers topographes, lesquels étaient chargés de dresser la carte de ce territoire, la découverte des premières bornes autour du chott el Fejej. À la suite d'une interprétation erronée des textes gromatiques, Toutain¹³, qui rapportait ces découvertes en 1905, était arrivé à une conclusion surprenante : l'origine de ce cadastre se trouvait, selon lui, en plein désert saharien. Il s'engageait, alors, dans une polémique stérile avec Barthel et Davin et il rejetait ainsi la seule borne trouvée près de Graïba et placée *sinistra decumani* qui lui aurait permis de corriger ses erreurs¹⁴.
- 15 Barthel, en revanche, constatant que cette borne se trouvait sur le même *cardo* (uk 265) qu'une autre borne (B.10) située *dextra decumani* (dd 80), arrivait à une conclusion toute différente¹⁵. Son *locus gromae* se situait non loin de Thala (cf. Figure 2), à environ 18 kilomètres au nord-est d'*Ammaedara*, le camp d'hiver des centurions géomètres. Il levait ainsi l'ambiguïté de Toutain en orientant le *kardo maximus* à 37° E-N-E. Son œuvre est remarquable, tant du point de vue géographique et gromatique que du point de vue historique. Cependant, sa construction géométrique souffrait d'une localisation approximative des dix-huit bornes alors connues, dont les distances avaient été mesurées « au pas du cheval du capitaine Donau ».
- 16 Aussi Davin, un ingénieur géographe, s'est-il attaché à localiser de façon précise cinq de ces bornes au moyen d'un théodolite¹⁶. Il estimait que le *locus gromae* se situait, non plus en plaine, mais au sommet d'une montagne, le Bou el Hanèche¹⁷, non loin de l'origine présumée de Barthel avec un orientation des axes majeurs à l'E-N-E de 39,02 gr (35,1°) et une valeur de la centurie comprise entre 703 et 710 m. Ces importants résultats étaient pratiquement confirmés par Legendre qui, à partir du mémoire Davin, avait refait les calculs et qui tentait aussi de trouver une raison astronomique (solaire ou lunaire) à cette orientation particulière, mais sans pouvoir conclure¹⁸. Il constatait simplement qu'il n'y avait rien de particulier sur le sommet du Bou el Hanèche, sinon un marabout.
- 17 Des doutes sur une origine située au sommet d'une montagne étaient à nouveau émis par Chevallier qui remarquait que le cadastre d'*Ammaedara* avait une orientation de 25,2° au N-E et celui de *Sufetula* de 32°¹⁹, et qu'elles étaient donc différentes de celle de la centuriation. Troussset, dans sa synthèse des travaux précédents, pensait que l'origine devait se situer en terrain plat et il adoptait une « déviation légère » dans l'orientation de Davin et une « valeur plus élevée » de la centurie en prenant 710 m. Il estimait enfin que « les *mensores* ont tiré droit vers le fond de la petite Syrte et que cette orientation a une signification militaire et politique et non une signification astronomique »²⁰.
- 18 Les travaux de Davin, bien que plus précis que ceux de Barthel, s'appuyaient sur un nombre limité de bornes dont certaines n'étaient plus en place. Malgré toute la rigueur de ses calculs, ils étaient entachés d'incertitudes non négligeables. La question fondamentale de l'orientation du carroyage et de son maintien sur de si vastes espaces n'était toujours pas résolue. Pour tenter de reconstituer avec plus de précision ce carroyage, il faut, d'une part augmenter l'échantillonnage et, d'autre part, se baser sur une référence géographique plus fidèle qu'un support de carte à moyenne échelle. On dispose, de nos jours, de techniques faciles à mettre en œuvre pour localiser géographiquement avec précision un élément, c'est le GPS. De plus, le carroyage étant une construction géométrique, il est possible de bâtir un modèle mathématique, c'est-à-dire un outil prédictif qui permet de localiser une borne à partir de ses coordonnées

romaines, et, inversement, de reconstituer ses coordonnées à partir de sa position mesurée. À partir de ces travaux préparatoires, plusieurs campagnes de recherches ont été menées sur le terrain afin de poursuivre le travail de Donau et de Davin.

Les bornes gromatiques tunisiennes

- 19 Barthel avait dressé une liste des dix-huit bornes signalées par Donau dont certaines (3, 13, 16) paraissaient douteuses sur le plan gromatique²¹. Davin avait ensuite complété cette liste en en stationnant cinq (1, 9, 14, 18, 20) avec précision et il avait recherché, en vain, la borne 19 signalée par le capitaine Lafond²². Cette liste a été reprise par Troussel qui a proposé certaines corrections, en particulier une relecture de la borne 17 qui est discutable, compte tenu de sa position géographique incertaine. Cette borne n'a jamais été revue²³. Plus récemment, il a rapporté la découverte fortuite d'un bornage de Vibius Marsus trouvé près de Gabès, document qu'il n'a visiblement pas pu intégrer dans le carroyage romain²⁴. Sa seconde lecture serait presque conforme si la « grille cadastrale de Barthel » admettait de larges déformations pour intégrer son inscription²⁵.
- 20 Une majorité de ces bornes ont été retrouvées, stationnées et étudiées²⁶. Outre les cinq bornes stationnées par Davin, la borne 19 qu'il recherchait a été retrouvée et sa lecture corrigée. Certaines bornes signalées par les officiers ont été stationnées (7, 4, 2, 6B) et leur lecture complétée. Cinq documents inédits ont été découverts²⁷ qui complètent la liste initiale de Barthel : N, 22A et 22B, 23, 24 et 25. La borne N est particulière. C'est un milliaire de même facture que les gromatiques, ayant valeur de *quintarius*, mais elle n'a pas été introduite dans la modélisation. Enfin, une lecture attentive du document de Gabès (21) ainsi qu'une analyse a permis de le replacer dans son contexte *groma* tique²⁸. Tous ces documents sont répertoriés dans un catalogue général²⁹ qui présente par secteur géographique tous les éléments signalés ou trouvés avec leurs références, leur découvreur, les renseignements déjà publiés, les informations nouvelles touchant l'épigraphie, le descriptif et la localisation précise, ainsi qu'un ensemble de photos, cartes, et tableaux. Ces renseignements sont synthétisés dans un tableau (cf. Annexe 1) et sur la Figure 3.

Figure 3. Les bornes retrouvées autour du Chott el Fejej [cliquer pour afficher]

Les bornes du Bled Segui

- 21 On dispose de six bornes pour cette région (cf. Figure 3), auxquelles s'ajoutent des mesures précises de distance et de gisement au moyen d'une station totale³⁰ entre deux de ces bornes. Elles sont taillées dans la même roche, un calcaire à petits fossiles spiralés de couleur ocre clair qui sonne clair au choc, et reconnaissables par leur taille et leur facture (cf. Figure 3).
- 22 Borne 22. Les fragments de la borne 22 ont été retrouvés en deux endroits distants d'environ 250 m. Le premier (22A) qui contient un cadre écrit est facilement identifiable : DD LXX(V) / VK CCL (cf. Illustration 1). L'autre partie (22B), qui est son embase, correspond à sa meilleure position géographique théorique.

Illustration 1. Borne 22A et son cadre

On peut lire : DDLXX(V) / UK

- 23 Borne 24. Ce *terminus* est particulier puisqu'il ne comporte pas comme pour les autres bornes deux lignes de coordonnées chiffrées, mais douze lignes de texte pratiquement illisibles. Sur la tranche supérieure, le *decussis* aussi est particulier : pas de croix, mais cinq cupules bien visibles dont deux assez profondes reliées par un trait parallèle à l'arête. La question de savoir si cette pierre est une borne *groma* tique, ou pas s'est donc posée. Cette borne (cf. Illustration 2) se situe à l'entrée du long couloir (O. Halfaya) qui conduit vers l'Ouest à la dépression du chott el Rharsa et aux rivages nord du chott Jerid. Elle se place, en outre, à l'entrée d'une piste chamelière qui traverse la ligne de crêtes par un petit collet (*clausura*). Cette position stratégique à l'extrémité du gouvernorat de Kebili marquerait-elle donc une limite de territoires à cette époque ? La présence de *clausura* (Bir Oum Ali, khanguet), *burgus* (Hr Semmah Si Ahmed) à son pied ferait pencher pour une telle hypothèse, ce qui pourrait expliquer la présence d'un long texte.

Illustration 2. Borne 24 avec ses douze lignes de texte

- 24 Bornes 25 et 23. Ces deux bornes à decussis et cupules (cf. Illustrations 2 et 4) portent le signe > II sur leur face frontale. Le signe > signifierait « centurie » d'après Barthel et Troussel³¹. On a retrouvé ce signe (>) sur de nombreuses bornes : la B18, la B21, mais aussi sur la 6B (> L (V) II.), la B4 (> II / çIII) et la 5 (> III). Selon Barthel, pour cette dernière, l'inscription « signifierait la 3^e rangée de centuries du *saltus*, située sur le même *kardo* ». Dilke note que ces bornes « pourraient être considérées comme centuries, si elles sont de bonne taille », ce qui est le cas³². Ces deux *termini* sont situés au pied de la montagne, c'est-à-dire en limite de zone centuriée ; ce serait donc des bornes subsécives (*subsecivum*).

Illustration 3. Borne 25 au pied du bordj de Bir Oum Ali

On lit : > II

Illustration 4. Borne 23 et son decussis

Le carroyage

- 25 Parmi la vingtaine de bornes gromatiques (cf. Annexe 2), une quinzaine portent inscrites en toutes lettres leurs coordonnées romaines [dd (*dextra decumani*) ou sd (*sinistra decumani*), uk (*ultra kardinem*)]. Il n'y a donc aucune ambiguïté sur les axes principaux et leur orientation, ils sont parfaitement définis dans l'espace : le *kardo maximus* est orienté E-N-E, et le *decumanus maximus* S-S-E (cf. Figure 2). À partir des coordonnées géographiques et romaines, on recherche par un modèle mathématique la meilleure superposition entre les deux réseaux. Le modèle est bâti sur deux orthodromies selon le *decumanus* et le *kardo*. On calcule les coordonnées cartographiques théoriques en fonction des coordonnées romaines pour un jeu de 4

inconnues (latitude et longitude du point origine, angle d'orientation a , module de la centurie), qu'on compare aux valeurs géographiques connues et on réitère jusqu'à minimiser l'écart moyen.

Tableau 1. Paramètres du carroyage calculés

Origine :	latitude 39,672 gr	N 35° 42,262'
(<i>locus gromae</i>)	longitude 7,095 gr (méridien Paris)	E 8° 43,216' (WGS 84)
Centurie	$c = 704$ m (pes = 0,293 m)	
Orientation	$a = 35,2^\circ$ (Co- $a = 54,8^\circ$, azimut du K.M.)	

- 26 Ce carroyage orthonormé a pour *locus gromae*, un point origine (0,0) ³³ situé dans la plaine du *Saltus Massipianus* au nord de Thala, non loin de la Table de Jugurtha et d'*Ammaedara*. Formellement, cette origine d'arpentage n'a pas été reconnue, mais soupçonnée³⁴. De la même façon, son orientation a sensiblement égale à 35° laisse à penser que les observations astronomiques auraient été conduites sur la Table de Jugurtha ³⁵, observatoire remarquable placé justement au-dessus du camp de la 3^e *Legio Augusta* (*Ammaedara*). Dans ce cas, le *kardo maximus* est orienté globalement en direction de Carthage (cf. Figure 2).
- 27 Par analogie avec les concepts de la géodésie géométrique, on dira que le *datum*, point d'observation astronomique se situe sur la Table de Jugurtha, que les axes cardinaux parallèle et méridien correspondent aux axes principaux *kardo* et *decumanus maximus* mais orientés géographiquement à 35° , que la base d'arpentage se situe dans la plaine du *Saltus Massipianus* et que le réseau de triangulation est la grille romaine orthonormée. La centuriation tunisienne est donc globalement définie (cf. Figure 4).

Figure 4. La forma de la centuriation [cliquer pour afficher]

Figure 5. Réseau centurié du chott el Fejej [cliquer pour afficher]

D'où les différents cas suivants :

1. Les 4 paramètres sont libres, les coordonnées romaines sont les valeurs inscrites.
2. Les 4 paramètres sont libres, les valeurs sont les numéros du *limes*. Elles sont calculées à partir des paramètres n, m (p, q) (cf. Annexe 2).
3. L'orientation α est fixée ($7/10$), les coordonnées romaines sont les valeurs fractionnaires correspondantes.
4. L'orientation α est fixée ($5/7$), les coordonnées romaines sont les mêmes valeurs fractionnaires.
5. L'orientation α est fixée ($\sqrt{2}/2$), la valeur cardinale dd est multipliée par $\sqrt{50/49}$ (*1 %).
6. L'orientation α est fixée ($\sqrt{2}/2$), les coordonnées romaines sont des valeurs fractionnaires.

- 33 On détermine ainsi la valeur moyenne de la centurie et l'écart moyen constaté sur toutes les bornes. À titre d'exemple, sont donnés dans le tableau synthétique ci-dessous les écarts type en longitude et en latitude pour une borne du Chareb (B1) et pour une borne du Bled Segui (B19).

Tableau 2. Écarts-types

Modèles	Angle α ; centurie c.	écart moyen (m)	Chareb. Borne 1 écart : long./lat. (m)	Bled Segui. Borne 19 écart : long./lat. (m)
α libre, val. inscrites	35,190° ; 704 m	164	-62 ; -3	+160 ; -120
α libre, n° limes	35,200° ; 704 m	211	-37 ; +17	+180 ; -110
$\alpha \sim 7/10$, n° limes	34,992° ; 704 m	225	-80 ; -31	+215 ; -80
$\alpha \sim 5/7$, n° limes	35,538° ; 704 m	224	+25 ; +100	+130 ; -160
$\alpha \sim \sqrt{2}/2$, $dd*1\%$, uk	35,264° ; 703 m	197	-13 ; +68	+135 ; -165
$\alpha \sim \sqrt{2}/2$, n° limes	35,264° ; 704 m	210	-25 ; +32	+170 ; -120

Figure 7. Conjugaison des grilles 5/7 et 7/10

- 34 L'écart moyen, dans tous les cas et pour toutes les bornes, est d'environ 200 m. On note que la valeur moyenne de la centurie reste toujours sensiblement égale à 704 m et que les valeurs gravées en dd, uk s'appliquent strictement à la grille romaine, même si l'on suppose avec vraisemblance que les géomètres ont utilisé le principe des visées diagonales. On retiendra, cependant, que cette méthode ne permet pas de lever les ambiguïtés : les trois angles d'orientation paraissent tous vraisemblables. Elle permet ainsi d'apprécier les coordonnées romaines des deux bornes subsécives B23 et B25, donc de mieux comprendre la signification du signe > II. On trouve les valeurs suivantes :

- 35 B23 : dd = 75,2 ; uk = 252,2 et B25 : dd = 95,5 ; uk = 232,5.

Maintien de l'orientation

- 36 L'épigraphie de la borne 24 n'a pu être déchiffrée. Sa nature, sa facture et sa position laissent à penser qu'elle est gromatique. On a donc déterminé ses coordonnées par le modèle général et par comparaison avec ses voisines B19 et B20.

Tableau 3. Les coordonnées de la borne 24

Bornes	B24	B20	B19
x(m) UTM	512 325	518 160	524 150
y(m) UTM	3 779 190	3 779 350	3 779 430
dd	98	91	84

uk	230	235	240
----	-----	-----	-----

- 37 Les coordonnées sont données dans le système UTM (fuseau 32) qui traduit directement les distances en mètres. On obtient ainsi les écarts inter bornes :

$\Delta (B24 - B20) = 5.840 \text{ m}$ et $\Delta (B20 - B19) = 5.990 \text{ m}$,
 d'où les intervalles sur les axes majeurs $\Delta dd = 7$; $\Delta uk = 5$,
 et les coordonnées calculées : dd 98 et uk 230.

- 38 Ces trois bornes « *quintarii* » se situent sur un quasi-parallèle ($34^\circ 09,28'$ ou ligne $p = 30$ dans la grille 5/7, cf. Figure 8). Le géomètre a donc maintenu l'orientation solaire – ici l'est – avec une marge d'erreur inférieure à $0,1'$ sur près de 12 km. L'orientation solaire est indubitable et sa précision de l'ordre de $0,86^\circ$. Cet alignement de bornes sur un quasi-parallèle géographique est un argument majeur de l'orientation solaire de cette centuriation (cf. Figure 8).

Figure 8. La forma du Bled Segui et la grille 5/7 [cliquer pour afficher]

Étude des bornes 19 et 23

- 39 Ces deux bornes étant en place, leur distance et leur azimut ont été mesurés au moyen d'un théodolite électronique Sokkia (cf. Illustration 5) et de récepteurs GPS.

Les résultats sont les suivants :

- Distance B19 - B23 = $10\,654,8 \text{ m} \pm 3 \text{ m}$,
- Azimut Az ($\backslash$ NG) B19-B23 : $110^\circ 31' \pm 6'$ ($109,52^\circ \pm 0,10^\circ$)⁴⁰.

- 40 Ces mesures sont très précises, elles devraient donc permettre de faire la différence dans les nuances angulaires ($0,2^\circ$) entre les différentes grilles.
- 41 L'épigraphie de la borne B19 est claire (dd 84, uk 240), mais la lecture de la borne subsécive B23 (> II) peut s'interpréter de deux façons :

- > II se lit « deuxième centurie », c'est l'interprétation de Barthel et, dans ce cas, les coordonnées dans la grille orthogonale sont : B23 (75 ; 252),
- > II se lit « deuxième *limes* », c'est-à-dire la deuxième diagonale du Saltus et, dans ce cas, les coordonnées dans la grille losangique sont : B23 (75,25 ; 252,5). Ces valeurs sont identiques pour les deux grilles : méridienne ($m = 7 \frac{1}{4}$, $n = 18$) ou parallèle ($p = 30 \frac{5}{8}$; $q = 19 \frac{7}{8}$) (cf. Figure 8) et comparables à celles obtenues par le modèle global (cf. supra).

- 42 On calculera l'azimut théorique du segment B23-B19 dans le carroyage romain, selon les trois grilles concurrentes qu'on comparera à l'azimut mesuré. L'azimut dans la *forma* (cf. Figure 8) s'obtient facilement. On calcule, d'une part, l'orientation θ du segment B19-B23 dans le triangle rectangle EIG (grille romaine), d'autre part, on connaît l'orientation du carroyage par rapport au Nord Géographique Romain⁴¹ (NGR), ici l'azimut du *cardo* ($Co-\alpha$). On déterminera, ensuite, la valeur de la centurie, compte tenu de la distance mesurée.

a) Grille orthogonale classique

- 43 Le triangle EIG (cf. Figure 8) est pythagorique (9- θ 12-15), avec $\theta = \arctg (12/9) = 53,130^\circ$, et l'orientation du *cardo* est $Co-\alpha = 54,736^\circ$. D'où l'azimut du segment B19 - B23, $Az = 53,130 + 54,736 = 107,866^\circ$. Pour la centurie, on trouve $c = 710 \text{ m} \pm 3 \text{ ‰}$.

b) Grille orthogonale rectangulaire

- 44 Toujours dans le triangle EIG, $\theta = \arctg(12/9 \cdot 1,010) = 52,851^\circ$. L'azimut de la grille Co- $\alpha = 54,736^\circ$. D'où $Az = 52,851 + 54,736 = 107,587^\circ$. La centurie est égale à $c = 707 \text{ m} \pm 3 \text{ ‰}$.

c) Grilles losangiques

- 45 Dans le triangle EIG, l'angle de l'hypoténuse EG a même valeur dans les deux grilles losangiques : $\theta = \arctg(2,5/8,75 = 10/7) = 55,008^\circ$. À cet angle, s'ajoute l'orientation de la grille : Co- $\alpha = 55,008^\circ$ pour la grille 7/10, ou Co- $\alpha = 54,462^\circ$ pour la grille 5/7. D'où les deux azimuts respectivement $110,016^\circ$ et $109,470^\circ$. La centurie prend ici la valeur unique de $c = 698 \text{ m} \pm 3 \text{ ‰}$.

Tableau 4. Synthèse

Azimut B19-B23	Grille losangique méridienne (m, n) 7/10	Grille losangique parallèle (p, q) 5/7	Grille orthogon. Classique (5*5)	Grille orthogo. Rectangulaire ($\sqrt{150} \cdot \sqrt{75}$)
Orientation du cadastre Co- α	55,008°	54,462°	54,736°	54,736°
Lecture B23 (> n) uk = dd =	2° Limes 252,5 75,25	2° Limes 252,5 75,25	2° Centurie 252 75	2° Centurie 252 75 * 1,010
$\Delta dd / \Delta uk$ dans EIG	12,5 / 8,75 = 10 / 7	12,5 / 8,75 = 10 / 7	12 / 9	12 / 9 * 1,010
Orientation B19- B23 dans EIG	55,008°	55,008°	53,130°	52,851°
Az / NGR (°)	110,016°	109,470°	107,866°	107,587°
Δ (Az mesuré - Az/NGR)	- 0,496°	+ 0,05°	+ 1,654°	+ 1,933°
Conclusion	Possible	Acceptable	Non acceptable	Non acceptable
Valeur de la centurie c. (m)	698 $\pm$ 3 ‰	698 $\pm$ 3 ‰	710 $\pm$ 3 ‰	707 $\pm$ 3 ‰

- 46 En résumé, la valeur de la centurie est toujours acceptable. Elle n'est pas un critère de choix compte tenu de la dispersion généralement admise sur cette grandeur. En revanche, tous ces azimuts théoriques sont à comparer à la mesure angulaire $Az = 109,52^\circ \pm 0,1^\circ$. D'où les conclusions suivantes :
- 47 - Les grilles orthogonales carrée ou rectangulaire ne conviennent pas.
- 48 - En revanche, les deux grilles losangiques répondent au problème et le modèle global donne justement une orientation ($35,2^\circ$) comprise entre ces deux valeurs ($34,99^\circ$ et

35,54°). Cependant, la grille 5/7 offre de meilleurs résultats et l'alignement des trois bornes du Bled Segui sur un parallèle, qui ne semble pas fortuit, conforterait cette orientation. Il reste que cette mesure très précise d'azimut est unique, et qu'elle mérite d'être confirmée par d'autres résultats expérimentaux.

4. Question de méthodes

- 49 On se propose, après l'étude numérique et géométrique de cette centuriation, d'examiner les méthodes de cadastration telles qu'elles sont présentées à partir des divers textes du *Corpus Agrimensorum*.

Méthodes de mesure

- 50 Les outils et les instruments de mesure sont abordés dans les ouvrages généraux ou spécifiques⁴². Certains ont été retrouvés ou reconstitués, et leur mise en œuvre est d'un intérêt certain puisqu'elle permet de se confronter aux problèmes techniques réels tels qu'ils se présentaient au géomètre⁴³. Les premiers exercices de topographie avec une *groma* 7/10 (cf. Illustration 6) démontrent qu'on progresse sans grande difficulté par triangulation à partir d'une base et ensuite par visées uniquement. Schématiquement, on peut dire qu'il existe deux classes de mesure : la mesure linéaire, la mesure angulaire.
- 51 La mesure linéaire entraîne une double opération : la visée pour l'alignement plus un arpentage au sol pour la mesure, c'est-à-dire un transport de la règle (perche, cordeau). L'arpentage systématique à la perche entraîne des opérations de nivellement⁴⁴ qui seraient, dans la pratique, tout à fait illusoires, alors que les méthodes de planimétrie sont courantes avec une alidade. Il est évident que si les géomètres pratiquaient ces méthodes de nivellement, les courbes de niveau ou les altitudes seraient portées sur leur *forma*, ce qui n'est jamais le cas pour les marbres d'Orange, les cartes romaines ou les vignettes qui nous sont parvenues. Dans les zones accessibles, le transport de la perche est toujours possible, mais en terrain montueux (cf. Illustration 5), il devient vite irréalisable⁴⁵. C'est la raison pour laquelle les géodésiens choisissent toujours une plaine ou une route suffisamment plane et rectiligne pour établir leur base. Pour l'inaccessible, la vue seule se charge du déplacement, d'où l'angle de visée.

Illustration 5. Relevés topographiques au théodolite

Illustration 6. La groma lors des premiers exercices topographiques

- 52 « Si tu ne peux mesurer, démontre », dit le géomètre latin et Auguste Comte nous rappelle :

« Nous devons regarder comme suffisamment constatée l'impossibilité de déterminer, en les mesurant directement, la plupart des grandeurs que nous désirons connaître. C'est ce fait général qui nécessite la *formation* de la science mathématique ».

- 53 Thalès avait mesuré la grande pyramide, non pas directement, mais par son ombre portée et par la similitude des triangles. Le fameux « *fluminis varatio* » de M. Iunius Nipsius⁴⁶ utilisé par les *finitores* n'est pas autre chose que l'application du théorème de Thalès. Ainsi, la grande pyramide, le bateau, le signal ou la borne, inaccessibles à la mesure directe, au pas ou à la main qui tient la perche, devient accessible à la vue et au raisonnement pur. Nos anciens traités d'arpentage l'énoncent clairement :

« C'est par le moyen de la Trigonométrie que l'on mesure les distances qui sont inaccessibles. Or, on distingue deux sortes de ces distances, savoir, celles qui ne sont accessibles que par l'une de ses extrémités, et celles qui sont entièrement inaccessibles »⁴⁷

- 54 L'auteur traite des deux cas par la méthode de triangulation. On est ainsi passé de la métrique (l'art des harpédonaptes) à la géométrie (la science de la mesure de la Terre) par la figure et le raisonnement.

- 55 On devrait donc accepter le fait que les *gromatici* faisaient plutôt appel à des visées et au raisonnement qu'à des mesures linéaires systématiques pour dessiner leur grille. Cet argument plaide évidemment davantage en faveur de la planimétrie que du nivellement, de la triangulation que de la quadrangulation. Cette remarque n'enlève rien au fait que sur de courtes distances accessibles, en architecture ou en bornage de petites parcelles, il est plus commode de mesurer directement les distances et que les travaux de génie civil faisaient nécessairement appel aux techniques de nivellement. Aussi il serait bon de différencier dans le *Corpus Agrimensorum* les textes qui appartiennent à la science géodésique et ceux qui relèvent des techniques du génie civil ou de l'architecture.

Méthodes de construction du carroyage

- 56 La centuriation est bâtie sur un quadrillage carré ou rectangulaire. Pour simplifier, on dira que deux méthodes de construction ont été proposées :
- la méthode « traditionnelle » par quadrangulation. Le carré de base est construit en suivant les quatre côtés ;

- la méthode de la « diagonale » ou triangulation.

- 57 A. Roth Congés décrit parfaitement les deux méthodes à partir du corpus⁴⁸ : la vérification par le refermement des *quintarii* par la méthode traditionnelle (*quintarius claudere*) et la construction de cadastre sur une diagonale en soulignant en outre un paradoxe apparent :

« Mais si le procédé d'articulation sur une diagonale semble avoir été très largement utilisé, on ne peut affirmer que tous les cadastres avaient été construits ainsi, et il est curieux de constater qu'au moins en première approche, les textes gromatiques n'en font pas état »⁴⁹

- 58 L'auteur précise que les visées diagonales étaient couramment utilisées par M. Iunius Nypsius pour la « varation » d'un fleuve⁵⁰. Cette méthode a été démontrée, en particulier, par A. Perez sur les cadastres de la Narbonnaise⁵¹ et par M. Assenat sur l'Uzège⁵² en signalant que les voies romaines rentrent parfaitement en diagonale dans le carroyage. Examinons donc son principe.

Le quadrillage normal K,D

- 59 Le carroyage de base le plus simple est la trame carrée. Pour construire et refermer un *quintarius* (carré de 5*5) selon la première méthode, on vise à la *groma* et on arpente avec des perches les quatre côtés d'un carré. L'opération est répétée pour chaque carré élémentaire constituant le *quintarius*. On comprend que ces opérations sont longues, répétitives et fastidieuses, d'autant qu'il n'est pas facile de porter bout à bout des perches sur un terrain irrégulier. C'est la méthode de quadrangulation.
- 60 La méthode de triangulation consiste à mesurer à la perche (ou au cordeau) un des côtés d'un triangle rectangle, à s'assurer par trois visées successives la fermeture et à calculer les deux autres côtés⁵³. Il n'y a qu'une seule opération d'arpentage, exécutée dans ce cas-là sur le terrain le plus favorable, les autres triangles jointifs sont simplement déterminés par visée.

Tracé par la diagonale

- 61 Sur le terrain, la méthode la plus sûre permettant de tracer des parallèles et de construire un quadrillage est de partir sur les diagonales⁵⁴. Cela revient à définir deux axes de progression, les deux diagonales ; en d'autres termes c'est opérer un changement d'axes. On peut donc construire une seconde grille carrée construite sur les diagonales. On retrouve le principe de la *groma* classique ou *stella*.

La diagonalisation généralisée

- 62 Le principe selon lequel le géomètre romain progressait sur le terrain en suivant une diagonale (méthode pro hypotenusa) a été formulé par certains chercheurs⁵⁵. Or, parmi les bornes retrouvées autour du Chott el Fejej⁵⁶, on a noté qu'une série de bornes (10-11, 9, 1 et 12) sont pratiquement alignées selon une direction γ orienté à peu près à 70° par rapport au méridien (cf. Figure 3), ou encore que l'axe de progression est orienté à 35° sur le *decumanus*, exactement dans le rapport $\Delta dd / \Delta uk = 7/10$, où Δdd est la différence des valeurs cardinales entre deux *termini*, et Δuk la différence des valeurs décumanes.

Exemple :

$\Delta (B12-B1) = 70-56 / 300-280 = 7/10$. Soit $\arctg 7/10 = 35^\circ$ (exactement $34,992^\circ$). On

peut aussi lire ces bornes de la façon suivante :

Borne 1 : $dd = 70 = 7*10$, $uk = 280 = 5*56$

Borne 12 : $dd = 56 = 7*8$, $uk = 300 = 5*60$

- 63 Les bornes de cette série ont leurs valeurs propres multiples de 7 et 5. Elles sont disposées, en outre, selon une progression arithmétique de raison $r = \sqrt{10^2 + 7^2} = \sqrt{149}$. Dans le plan dd, uk (la *forma*, cf. Figure 4), cet axe g coupe la méridienne d'origine en un point G de coordonnées : dd = 133, uk = 190, et le *decumanus* D0 d'origine en un point I de coordonnées dd = 0, uk = 380. On obtient une figure géométrique remarquable, un triangle isocèle de base D0, dont un côté est le méridien d'origine et l'autre l'axe γ ; les angles au sommet sont égaux respectivement à $34,992^\circ$ ($\arctg 7/10$)⁵⁷. Ce triangle isocèle OGI définit ainsi deux axes β_0 et γ_0 , les diagonales à l'origine du rectangle 7 et 10 et symétriques aux axes cardinaux K0 D0. L'axe β_0 est un méridien, c'est-à-dire qu'il est parfaitement orienté dans l'espace terrestre. Il est donc possible, comme pour le carré, d'étendre la méthode de la diagonalisation au rectangle.

La grille losangique méridienne 7/10

- 64 On pourrait donc dupliquer à partir de ses diagonales le rectangle 7 et 10 initial, c'est à dire choisir ces diagonales comme lignes de progression⁵⁸ et reproduire à l'infini le rectangle initial (cf. Figure 4). En effectuant un changement d'axes classique, on peut exprimer les coordonnées des bornes selon les relations simples suivantes : $dd = 7 \cdot (n - m)$ et $uk = 10 \cdot (n + m)$ ⁵⁹, où n et m sont des entiers naturels, respectivement égaux à 19 au point I et de vecteur unitaire $\lambda = \sqrt{149}$ centurie.
- 65 Les bornes peuvent, donc, être numérotées dans le double système : (dd, uk) et (n, m). L'alignement remarquable des bornes du Chott el Fejej se retrouvent sur l'axe γ_{19} . Sur la *forma* (cf. Figure 4), le triangle rectangle ONP a pour angles au sommet $\alpha = 35^\circ$. Par symétrie avec la méridienne, on obtient un quasi-losange⁶⁰ ONPM ayant certaines propriétés remarquables. Les côtés adjacents sont égaux deux à deux respectivement à 7 et 10 et les diagonales sont à angle droit comme dans un carré. Un des angles au sommet est de 70° ($2 \cdot \arctg 7/10$) tandis que deux angles opposés sont droits.

La grille losangique parallèle 7/5

- 66 La grille losangique a été construite sur une direction privilégiée, la méridienne. Inversement, peut-on trouver une autre grille dont la direction serait un parallèle ? En effet, on a noté que les bornes 20, 19 et 24 se trouvent pratiquement sur un même parallèle, elles sont disposées selon un $\Delta uk = 5$, et un $\Delta dd = 7$.

Exemple : $\Delta dd (B_{24} - B_{20}) = 98 - 91 = 7$; $\Delta uk (B_{24} - B_{20}) = 230 - 235 = 5$.

- 67 Or, $\Delta uk / \Delta dd = 5/7$ avec $\tg 5/7 = 35,538^\circ$, valeur proche de l'angle α calculé ($35,5^\circ$). On peut construire une seconde grille losangique telle que :

$dd = 7 \cdot (p - q)$ et $uk = 5 \cdot (p + q)$, où p et q sont aussi des entiers naturels.

- 68 Ici, l'axe δ (cf. Figure 6) est orienté selon un parallèle, et l'autre axe ξ selon une autre diagonale (équivalente à l'axe γ de la grille méridienne). Le vecteur unité est égal à l'hypoténuse du triangle rectangle 5 et 7 ($\sqrt{74}$). Les paramètres p et q prennent, alors, la valeur 38 au point I. On peut donc construire de la même façon, une grille losangique (cf. Figure 4) dont la surface unitaire est double du rectangle de base $7 \cdot 5$.

Comparaison des grilles losangiques

- 69 On notera que la surface des losanges élémentaires sont dans le rapport 2. Dans un cas, on progresse selon une diagonale égale à $\sqrt{149}/2$ et dans l'autre sur la diagonale $\sqrt{74}$ (le rapport est presque égal à $\sqrt{2}$). Les deux grilles losangiques sont parfaitement conjuguées, c'est-à-dire que toute borne « *quintarius* » correspond toujours à un nœud principal des deux grilles. On dira que ses distances dd, uk s'expriment de façon univoque en fonction des paramètres (m, n) ou (p, q). Il est évident que tous les nœuds

des mailles élémentaires ne coïncident pas, mais toutes les bornes de la centuriation se situent sur un nœud commun aux deux grilles, leurs coordonnées théoriques ayant la même valeur (cf. Figure 7). Cependant,

- 70 - la grille losangique 7/10 est orientée par référence au *Decumanus Maximus*, il fait un angle de 35° par rapport à la méridienne,
- 71 - la grille losangique 5/7 est orientée par référence au *Kardo Maximus*, il fait un angle de $35,5^\circ$ par rapport au parallèle.
- 72 On privilégie dans un cas le *Kardo Maximus* et l'orientation vers l'est, et, dans l'autre cas, le *Decumanus Maximus* et l'orientation vers le sud. Mais il est impossible de déterminer à ce stade, compte tenu de l'orientation calculée ($35,2^\circ$), quelle grille losangique les *finitores* auraient retenue. La nuance vient de la faible variation de l'orientation de la centuriation : $34,992^\circ$ et $35,538^\circ$, différence angulaire inaccessible aujourd'hui à la précision de nos relevés et de l'incertitude que nous avons sur la route (loxodromique ou orthodromique) empruntée par ces géodésiens. Les deux grilles conviennent dans les deux cas, avec une préférence pour la grille 5/7.

Grille rectangulaire $\sqrt{2}/2$

- 73 Dans la conjugaison des deux grilles, on remarque que l'angle entre l'axe OP (parallèle) et l'axe OM (méridien) est égal à : $\arctg 7/5 + \arctg 7/10 = 89,454^\circ$. Cet angle est presque droit (90°), ce qui confirme que les deux grilles ne sont pas exactement interchangeables. C'est soit l'une, soit l'autre. D'où la nouvelle proposition d'une grille rectangulaire telle que OP et OM soient perpendiculaires. Dans ce cas, on peut construire une grille rectangulaire de côtés $\sqrt{150}$ et $\sqrt{75}$, de demi-angle au sommet α tel que

$$\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{2}/2 = 35,264^\circ.$$

- 74 On a aussi les relations remarquables :

$$\cos \alpha = \sqrt{2}/3, \sin \alpha = \sqrt{1/3} \text{ et } \sqrt{2}/2 = \sin 45^\circ = \cos 45^\circ \text{ (diagonale du carré).}$$

- 75 Les côtés du rectangle sont dans le rapport $\sqrt{2}$ [$\sqrt{150} = 2 * \sqrt{75}$], c'est-à-dire que le rectangle dont la surface est moitié a même côté que l'autre. Aujourd'hui, on dirait qu'on passe du format A3 au format A4 en divisant par 2 la surface initiale.
- 76 L'approximation de $\sqrt{2}$. L'extraction des racines des équations du second et du troisième degré était connue des premiers mathématiciens, en particulier, la valeur de la diagonale du carré unitaire ($x^2 = 2$). Ce nombre irrationnel $\sqrt{2}$ était compris chez les Babyloniens entre 1,24 et 1,25 (système sexagésimal). Bien qu'ils adoptaient couramment la valeur approchée 1,25 (1,41666), ils connaissaient une valeur plus précise 1,245110⁶¹. Une telle précision nécessite des tables compliquées ou un procédé rigoureux de recherche. D'autres méthodes sont attestées chez les Grecs, les Hindous, les Arabes, les Byzantins et les Occidentaux de la première renaissance. Héron, dans ses *Métriques*, l'explique sur l'exemple de 720. Cette méthode se résume au problème suivant.

« Si a_1 est la valeur approchée de $\sqrt{A}$, Héron prend la seconde approximation ;
 $a_2 = 1/2 (a_1 + A/a_1)$, puis la troisième s'il y a lieu ;
 $a_3 = 1/2 (a_2 + A/a_2)$, le procédé pouvant évidemment se réitérer à l'infini. »

- 77 On notera justement chez les géomètres romains que les ratios 7/5 (a_1) et 10/7 (a_1) encadrent la valeur de $\sqrt{2}$: $7/5 < \sqrt{2} < 10/7$, et plus exactement que leur moyenne arithmétique est la valeur la mieux approchée de $\sqrt{2}$.

$$a_2 = 1/2 \{7/5 + 2/(7/5)\} = 1/2 (7/5 + 10/7) = 1,41429 \text{ ou } 99/70$$

78 qui est, à la cinquième décimale près, la valeur de $\sqrt{2}$ (1,41421). C'est la seconde approximation de Héron.

79 En d'autres termes, les rapports 5/7 et 7/10 sont les premiers ratios d'approximation de $\sqrt{2}$, tandis que leur moyenne arithmétique est une valeur plus précise. Les angles correspondants sont très proches : 35,538°, 34,992° respectivement pour a_1 (5/7 et 7/10), et 35,263° pour a_2 , à comparer à la valeur exacte 35,264° pour $\sqrt{2}$.

Méthodes d'orientation

80 Selon J. Le Gall :

« Les Agrimensores connaissaient neuf systèmes pour tracer les limites de centuriations. Cinq n'avaient rien à voir avec l'orientation solaire, ils avaient pour base : la mer, le relief, la plus grande longueur du territoire, une via consularis. Quatre autres systèmes étaient en rapport avec l'orientation solaire : orientation par visée sur le soleil à son lever, orientation par rapport au nord et au sud vrais... »

⁶².

81 Bien que cette étude ait été souvent considérée comme « fondamentale » et bien qu'elle s'inspire de la lecture des textes gromatiques, on y apportera les plus extrêmes réserves. On ne voit pas d'abord comment un géomètre peut s'orienter sur un rivage, un relief, une plus grande distance ou une voie consulaire et s'y maintenir⁶³, puisque l'orientation de cet amers change dès qu'on se déplace. Ensuite, la démonstration de J. Le Gall repose sur le principe que seuls les cadastres orientés selon les points astronomiques fondamentaux (solstices ou équinoxes) ont une orientation solaire. Il rejette, donc, tous les autres. C'est oublier que les Romains connaissaient la géométrie et qu'il est toujours possible selon M. Guy de choisir un azimuth donné – défini par rapport à un axe astronomique (le nord) – à partir d'un ratio de deux nombres entiers naturels⁶⁴. La question de l'orientation astronomique ne devrait même pas se poser. Le cadastre est un cadre géographique basé sur les axes cardinaux de la Terre, et cette orientation solaire était recherchée par les Anciens selon deux méthodes :

82 - méthode de la sixième heure (le midi local),

83 - méthode du lever du soleil.

84 La technique du gnomon, du cadran ou du scaphé était connue depuis la Haute Antiquité ; elle est, aujourd'hui, bien documentée. On apportera, ici, seulement quelques précisions⁶⁵.

Méthode de la sixième heure (le midi local)

85 Elle consiste à noter les deux passages de l'ombre du gnomon sur un cercle centré sur ce dernier. Le midi est alors donné, en principe, par la bissectrice (l'ombre la plus courte). Cette méthode est valide toute l'année, elle n'est exacte qu'aux solstices. En effet, l'erreur sur la détermination du nord géographique dépend :

86 - de la variation de la déclinaison solaire pendant la durée de traversée du cercle par l'ombre (1'/h aux équinoxes),

87 - de la latitude du point,

88 - de la durée que met l'ombre à traverser le cercle⁶⁶.

89 Elle s'exprime pour l'équinoxe de printemps, par la relation :

$$\Delta\alpha_0 = A / \cos l \cdot 1 / \sin c (D),$$

où $\Delta\alpha_0$ = erreur d'azimut (par rapport au Nord), elle est positive vers l'est ;

$A = 3,8'$; l = latitude et $\sin c (D) = \sin D / D$, avec D = demi-durée de traversée du cercle.

Par exemple, pour $D = + - 6h$, $1/\sin c(D) = 1,57$.

À la latitude 35° (latitude moyenne de la centuriation tunisienne), pour $D = + - 1h$ (durée recommandée par Vitruve), le « Nord » est trop à l'est de $4,8'$. La déviation se situe vers l'est, au nœud ascendant (équinoxe de printemps) ou vers l'ouest au nœud descendant (équinoxe d'automne).

Tableau 5. Exemples d'erreur maximale commise sur l'orientation solaire selon la latitude pour quelques pays. Condition d'observation $D = + / - 2h$ aux équinoxes

Pays	Tunisie (centre)	Italie (centre)	Narbonnaise	Germanie (centre)	Bretagne (nord)
Latitude ($^\circ$)	35°	40°	43°	50°	55°
$\Delta\alpha_o$ ($'$)	4,87'	5,21'	5,46'	6,21'	6,96'

Figure 9. Erreur sur la détermination du nord géographique en fonction du jour de l'année

90 Pour une date quelconque dans l'année, on a approximativement :

$$\Delta\alpha = \Delta\alpha_0 * \cos \theta, \text{ avec } \theta \approx T - 80 (^\circ) \text{ et } T \text{ le numéro du jour dans l'année.}$$

91 R. d'Hollander montre qu'il existe un écart de $5'5$ environ ⁶⁷ entre le calcul moderne et les tables de Ptolémée, dans la détermination de l'ombre méridienne du gnomon au solstice d'hiver et à la latitude du Mi-Pont-Euxin⁶⁸. Les opérations d'alignement à la groma entraînent, *ipso facto*, des erreurs non négligeables ; aussi des recalages périodiques sur le méridien sont-ils indispensables. Ces recalages conduisent dans le pire cas à une déviation locale de $\pm 4,8'$, mais cette erreur est en général moyennée au cours des opérations. Nous avons vu que les *finitores* de la légion *Augusta* ont fait mieux en maintenant la direction (l'Est en l'occurrence) avec un écart de moins de $0,1'$ sur une courte distance (12 km).

Méthode du lever/coucher du soleil

92 Cette méthode est valable toute l'année, mais plus délicate. Elle n'est exacte et directe qu'aux seuls équinoxes. Ensuite, l'azimut de lever/coucher du soleil dépend fortement de la latitude du lieu et de la saison, et il est toujours possible de déterminer le Nord géographique à partir de tables ou d'abaques. Il n'empêche que la visée directe du lever du soleil aux solstices peut servir de direction astronomique de référence, ce qui

semblerait presque le cas de la *colonia Juniona* à Carthage⁶⁹. On admet que son *locus gromae* se situe sur la colline de Byrsa. C'est le même *datum*, c'est-à-dire le même observatoire astronomique qui a servi aux mesures modernes de triangulation. Cependant, il n'est pas nécessaire comme le suggèrent certains auteurs⁷⁰, d'effectuer de longues et délicates mesures de nivellement (*cultellatio*) entre le sommet de Byrsa et la plaine. Il suffit simplement de prendre pour base d'arpentage un segment de droite dans la plaine de La Malga, de la même façon que les géodésiens français ont opéré quelque siècles plus tard dans la plaine de Tunis, le reste n'étant qu'une question de raisonnement. Pour toutes ces raisons, on peut estimer que la centuriation de la *colonia Juniona* est déterminée.

Figure 10. Schéma de principe d'orientation solaire d'un cadastre (ici pour le ratio 7/10)

Orientation des cadastres

- 93 La méridienne locale une fois déterminée, le géomètre oriente son premier *limes* selon l'azimut du cadastre. Il trace, pour cela, la diagonale par la méthode « *pro hypotenusa* », selon un ratio donné (ici, 7/10). L'angle d'orientation est alors de 35° ($\text{tg } 35^\circ = 7/10$).
- 94 La question de l'orientation solaire ne se pose donc pas. La question essentielle est de savoir si les orientations (ou ratios) retenues sont quelconques. D'après M. Guy⁷¹, une forte récurrence apparaît, se rapportant à des fractions en cinquièmes (*quintanus*), telles que : 1/10, 1/5, 3/10, etc. Il proposait deux méthodes pour la construction de l'angle : la méthode de la corde (loi des sinus) et la méthode « *pro hypotenusa* » (loi des tangentes). Ce point est parfaitement conforté par la centuriation tunisienne. Cette analyse a été poursuivie sur son histogramme des orientations⁷², en retenant la méthode de la tangente, à partir de l'hypothèse suivante.
- 95 Toutes les centuriations sont en rapport avec le soleil. La majorité d'entre elles est orientée par référence au Nord géographique selon un angle choisi tel que sa tangente représente une fraction simple de deux nombres entiers. Parmi ces ratios, la préférence serait donnée au chiffre 5 qui se trouve soit au numérateur, soit au dénominateur.

Tableau 6. Distribution des pics de récurrence [cliquer pour afficher]

- 96 Les pics de récurrence correspondent parfaitement aux ratios. Certains, comme 5/9, 4/5, 5/6 ou 5/5, semblent peu fréquents. On notera le cas particulier de l'angle 35° où deux ratios 7/10 et 5/7 sont très proches (écart angulaire d'environ $0,5^\circ$). On comprend,

alors, pourquoi il est difficile de déterminer l'orientation exacte de la centuriation tunisienne. En conséquence, les angles d'orientation prendraient les valeurs suivantes et elles seules (cf. Figure 11).

Figure 11. Graphe des angles d'orientation proposés pour les cadastres

- 97 Il reste cependant à éclaircir un point troublant soulevé par M. Guy : le décalage constaté systématique de 2° vers l'est. D'où provient-il ? Nous avons vu, d'une part, que la prise d'orientation de la méridienne au gnomon est pratiquement négligeable et que d'autre part, il n'y a pas, de nos jours, de raisons scientifiques connues pour justifier (sur une période de 2 000 ans) un tel déplacement du moment cinétique de la Terre, le mouvement du pôle vrai de la croûte terrestre n'étant que de quelques dixièmes de seconde d'arc. Il n'y a naturellement pas lieu de tenir compte du déplacement séculaire du pôle magnétique. Restent donc deux possibilités :
- 98 - Erreur des géomètres romains
- 99 O. Dilke⁷³ subodore l'utilisation d'un cadran solaire faillible et cite Hygin l'Arpenteur fustigeant les *gromatici* qui prenaient leurs repères sur le soleil levant et couchant. Outre que ces cas devaient être exceptionnels, ils ne justifient pas le caractère systématique du décalage de 2° vers l'Est.
- 100 - Erreur des archéologues
- 101 Le relevé de l'azimut sur la carte doit donc être le plus rigoureux possible. Ce point a parfois été négligé par certains « inventeurs » de cadastre⁷⁴ ; il transparaît dans la dispersion angulaire mise en évidence dans les histogrammes de M. Guy. Enfin, certains pseudo-cadastres romains pourraient aussi contribuer à cette dispersion statistique, d'autres pourraient être d'origine différente (grec ?). Il paraît donc hautement recommandable de réexaminer avec plus de soin l'orientation des cadastres répertoriés. Il est clair que ce décalage de 2° à l'Est n'apparaît pas dans l'orientation de la centuriation tunisienne.
- Méthodes de datation

- 102 Une des questions que l'archéologue ou l'historien se pose à l'étude d'un parcellaire centurié est celle de sa datation. Sauf à en avoir connaissance par des textes sûrs, il est souvent difficile d'apporter une réponse valable sur sa date de création. Les tentatives de chronologie à partir de la grandeur du *pes* utilisé, par exemple qu'une « petite centurie » serait plus tardive qu'une « grande centurie »⁷⁵, n'ont pas toujours été convaincantes. Cette méthode s'appliquerait difficilement à la centuriation tunisienne, car des variations locales relativement importantes ont été notées sur la centurie. Ces dispersions⁷⁶ sont naturelles si on veut bien prendre en considération les méthodes employées qui entraînent des erreurs humaines non négligeables.
- 103 S'il paraît vain de vouloir tracer une courbe du temps en fonction de la longueur du pied, l'examen précis de l'orientation pourrait, en revanche, conduire dans le cas de cadastres superposés, à une approche plus féconde. En effet, prenons une centuriation originelle orientée astronomiquement, puis un *limes* ou une *via consularis* conséquente, construite selon une diagonale du réseau. Supposons, maintenant, un second cadastre local qui « s'appuie » sur ce *limes*. L'examen des cartes montrera deux cadastres superposés d'orientation géographique différente. L'azimut du second sera la somme algébrique des angles, l'azimut de la centuriation, l'angle de la diagonale et éventuellement l'orientation choisie pour le parcellaire. En revanche, l'addition trigonométrique (loi des tangentes) conduit à un ratio compliqué alors que le premier est toujours simple⁷⁷. Il a été suggéré que le géomètre, homme de science et rationnel par nature, retenait un ratio simple – des sous-multiples de 5, de préférence – pour caler ses alignements. Dans cette hypothèse, la détermination des ratios d'orientation devrait permettre d'établir une antériorité. Exemple : soit une centuriation orientée à 21,8°/ NG (ratio 2/5), une voie qui rentre selon le rapport 2/3 dans le réseau et un parcellaire construit sur cette voie selon la diagonale carrée (45°). Le second cadastre (plus tardif) sera orienté selon le rapport - 27/5 (100,49°), ratio complexe comme on le voit. Cette méthode de chronologie relative n'est sans doute pas généralisable, mais elle pourrait être une aide pour certains cadastres superposés, à charge pour l'archéologue de trouver des vestiges plus précis.
- 104 En ce qui concerne la centuriation tunisienne, sa datation est en partie possible par les textes épigraphiques. Dans le Chareb, plusieurs bornes (B1, B14, B21) ont été placées par la 3^e légion Auguste, sous le 3^e mandat du proconsul C. Vibius Marsus, c'est-à-dire vers 29 de notre ère⁷⁸. L'arrière-plan historique est bien connu et se situe quelques années après la victoire de P. Cornelius Dolabella sur Tacfarinas⁷⁹. Une autre borne (B7) qui sert de limite entre le territoire des *Nybgenii* et des *Tacapitani* est attribuée à Trajan, vers l'an 105 ap. J.-C. Il est évident que cette centuriation a été complétée au fur et à mesure des nécessités. À quel moment cette centuriation a-t-elle été ordonnée ? La localisation de son *locus gromae* près d'*Ammaedara* confirmerait, s'il le fallait, sa réalisation par la Legio III Augusta. Il est évident que ces travaux d'envergure ont demandé plusieurs campagnes si on tient compte des distances arpentées (des centaines de kilomètres), des difficultés du terrain (il faut franchir plusieurs chaînes de montagnes depuis Thala jusqu'au *limes* du Jebel Efaïa), du contexte de rébellion rencontré. À notre avis, les bornes du Bled Segui ne datent pas de l'époque de Vibius Marsus, leur facture est nettement différente et son nom n'a jamais été relevé. Elles seraient antérieures, en accord avec la proposition de R. Chevallier⁸⁰. Un élément supplémentaire est la réalisation de la voie *Ammaedara-Tacapaë* par le proconsul L. Nonius Asprenas, terminée vers l'an 14 ap. J.-C. Certaines sections de cette voie, en

particulier la partie méridienne à l'entrée de Thala ou celle entre Sidi Aïch (*Gemellae*) et Gafsa (*Capsa*), s'intègrent parfaitement dans ce vaste réseau. En outre, la borne centuriale (6B) a été retrouvée dans un nid de milliers de cette voie parmi lesquelles figure le nom de « LEG. AUG ». Selon R. Chevallier, cette opération fut probablement commencée sous Auguste. La date de création de cette centuriation reste, donc, encore ouverte. La découverte de bornes écrites près de l'origine pourrait, peut-être un jour, apporter une réponse définitive. Il appartient aux historiens de replacer ce monument géographique dans tout son contexte historique.

- 105 La découverte de documents gromatiques inédits, la redécouverte d'autres bornes signalées mais jamais stationnées et la relocalisation des bornes de Davin ont permis de constituer un fichier⁸¹ de vingt-cinq bornes de la centuriation tunisienne. L'étude de ce bornage mis en place par les géomètres romains permet de mieux comprendre certaines de leurs méthodes et de leurs techniques. Elles impliquaient, de leur part, des connaissances approfondies, et non pas « minimalistes », en astronomie, en mathématique et en physique. La centuriation tunisienne est une œuvre de géodésiens. Son orientation astronomique est indubitable. L'alignement de ses bornes et l'orientation de ses voies montrent que les géomètres devaient se recalculer régulièrement sur le méridien local. Les bornes *quintarii* sont disposées de façon générale aux angles d'un *saltus* de $5 * 7$ centuries. L'usage de la géométrie euclidienne ne fait aucun doute, mais il reste à mieux définir cette figure géométrique : l'angle au sommet de ce triangle pouvant être de $35,538^\circ$ ($\arctg 5/7$) ou de $35,264^\circ$ ($\arctg \sqrt{2} / 2$). Les mesures enregistrées ne nous permettent pas encore de différencier un si faible écart angulaire, bien que le ratio $5/7$ semble préférable. La figure géométrique étant ainsi définie, les côtés du triangle sont calculés selon les relations bien connues du triangle rectangle. L'unité de longueur est basée sur une centurie moyenne de 704 m (1 *actus* = 35,2 m et 1 *pes* = 0,293 m), avec des variations locales pouvant aller de 698 m à 710 m. Il est plus que probable que les géomètres romains devaient contrôler régulièrement ces longueurs par des mesures à la perche ou au cordeau sur des bases établies en terrain plat. Cette méthode est simple sur le principe, mais lourde et difficile à mettre en œuvre ; c'est pourquoi les géomètres romains, comme leurs successeurs, préféraient les mesures angulaires aux mesures linéaires. Ils possédaient les bases mathématiques, héritées des Grecs, pour effectuer ces calculs.
- 106 À partir de ces résultats, certaines pratiques d'arpentage ont été examinées et confrontées. Cette centuriation est construite selon des *saltus* rectangulaires et la *groma* classique carrée ne permet pas le contrôle de la fermeture angulaire sur la diagonale (*pro hypotenusa*). La détermination de la méridienne par la méthode de la sixième heure paraît la mieux adaptée, même si elle entraîne une petite imprécision dépendant de la latitude du lieu d'opération. L'étude statistique, faite à partir d'un fichier de près de 180 cadastres, semblerait montrer qu'une majorité d'entre eux sont orientés selon la règle de la tangente, c'est-à-dire selon un ratio simple souvent sous-multiple de 5. Selon cette loi – qui reste à valider sur la base d'une évaluation précise de l'azimut de ces cadastres –, il serait possible pour certains parcellaires superposés d'évaluer une antériorité. Cet aperçu de géodésie géométrique pratiquée par les Romains ne doit pas nous faire oublier qu'aucune de leur carte (*forma*) n'est parvenue jusqu'à nous. Ces cartes sommaires mais précises sont suffisantes pour définir un plan d'aménagement du territoire : le réseau routier, le *limes Tripolitanus* ou les plans de répartition des terres entre les différentes tribus. La centuriation de l'*Africa Nova*

semble répondre à tous ces objectifs stratégiques et à la vision géopolitique de ses ordonnateurs.

107 Remerciements

108 *Les dernières découvertes faites au cours de la mission Bled Segui, au printemps 1999, ont été réalisées grâce au concours de : C. Ouasli et L. Jaouadi de l'association « Les Amis de la maison de la culture de Kalaât Senam », R. Elhaj de l'Iset de Radés, C. Berthier, L. Decramer, R. Hilton et A. Plas de l'ASC/CNES. Nous tenons à remercier vivement pour leur aide et leurs encouragements Monsieur le Gouverneur de Kebili, Monsieur le Maire de Kalaât Senam et Monsieur le Directeur de L'ISET de Radés. Nous avons retrouvé la chaleureuse hospitalité des habitants du Bled Segui qui, une fois de plus, nous ont aidés efficacement dans nos recherches.*

Glossaire

- 109 arctg 5/7 : arc dont la tangente est égale au ratio 5/7 (35,54°).
- 110 *burgus* : château fort
- 111 *centuria* : centurie, unité de surface de 2 400 pieds de côté, par extension ce côté.
- 112 *centuriatio, limitatio* : centuriation, division du terrain par croisement de limites.
- 113 *clausura* : fortification, mur de fermeture d'un passage, d'un col.
- 114 *cultellare* : « couper au couteau », ramener dans un plan (planimétrie ou nivellement ?).
- 115 *datum* : point fondamental d'un réseau géodésique.
- 116 *decumanus maximus* (DM), *kardo maximus* (KM) : les deux axes orthogonaux fondamentaux d'une centuriation. Ici le DM est orienté S-S-E et le KM E-N-E.
- 117 *decussis* : croix (+) gravée sur la face supérieure d'une borne, par extension toute la tranche y compris ses cupules.
- 118 *dextra decumani*, dd : à droite du *decumanus*, coordonnée de la borne selon le *cardo*.
- 119 *forma* : carte, plan.
- 120 *hypotenusa (pro)* : par l'hypoténuse, par la diagonale.
- 121 *jugerum* : surface de 28 800 pieds carrés.
- 122 *groma* : instrument de visée d'arpenteur, elle permet de tirer des alignements dans des directions voulues.
- 123 *groma tici, finitores* : géomètres, géodésiens.
- 124 GPS : Global Positioning System, système de localisation précise par satellites.
- 125 *limes*, pluriel *limites* : axe de division de la terre, chemin formant une limite, par extension zone proche de la frontière de l'Empire romain.
- 126 *locus gromae* : lieu où est placée la *groma*, origine des axes cardinaux.
- 127 *loxodromie* : ligne qui coupe les méridiens sous un angle constant (même cap).
- 128 N.G.R. : Nord Géographique Romain, nord tel qu'on peut le déterminer par l'orientation du carroyage, il peut être légèrement différent du nord géographique.
- 129 *orthodromie* : arc de cercle passant par deux points de la Terre, c'est la plus courte distance sur la sphère.
- 130 *quintarius* : chaque cinquième axe d'une centuriation. Par extension, on appellera borne « *quintarius* », les bornes placées sur ces axes. Elles se trouvent aux croisements des *cardos* multiples de 5 et des lignes *decumanes* multiples de 5 ou 7. Borne *quintarius* : borne de 1^{er} ordre.

- 131 *quintanus* : de cinq en cinq.
- 132 *saltus* : lot de terre de 5 000 *jugera*.
- 133 *subsecivum* : « rebuts de terre » qui ne forment pas une centurie. Par extension, on appellera borne « subsécive » les bornes qui marquent cette limite. Borne subsécive : borne de 2^e ordre.
- 134 *ultra kardinem*, u k : au-delà du *cardo*, coordonnée de la borne selon le *decumanus*.
- 135 UTM : Universal Transverse Mercator.
- 136 *terminus* : borne, pierre de bornage.
- 137 α : angle que fait le K.M. avec l'est. Co- α : angle complémentaire ou azimut vrai (/NG).

BIBLIOGRAPHIE

- Adam, Jean-Pierre, *Groma et chorobate, exercices de topographie antique*, MEFRA, 1982, 94-2, pp. 1003-1029.
- Assénat, Martine, *De Nola à Uzès : étude d'un procédé d'arpentage antique. Monde rural et histoire des sciences en Méditerranée*, Presses universitaires de Perpignan, 1996a.
- *Cadastres et romanisation dans la Cité antique de Nîmes*, Thèse de doctorat Histoire et Civilisations de l'Antiquité, Montpellier, 1996b.
- Atlas des centuriations de Tunisie*, IGN, 1954.
- Barthel, Walter, « Römische Limitation in der Provinz Africa », *Bonner Jahrbücher*, 1911, CXX, pp. 39-126.
- Chevallier, Raymond, « Essai de chronologie des centuriations romaines de Tunisie », *MEFRA*, 1958, pp. 96-105.
- Chouquer, Gérard & Favory, François, *Misurare la Terra ; centuriazione e coloni nel mondo romano*, Paris, Éditions Errance, 1983.
- *Les arpenteurs romains. Théorie et pratique*, Paris, Éd. Errance, 1992.
- Clavel-Lévêque, Monique, « Centuriations, géométrie et harmonie. Le cas du Biterrois », in *Mathématiques dans l'Antiquité*, Saint-Étienne, 1993, pp. 161-184.
- Davin, Pierre, « Note sur le cadastre romain du Sud tunisien », *Bull. du C.T.H.S* et note additive, 1930-1931, pp. 130-132.
- Decramer, Lionel R., « A-t-on retrouvé le point d'origine de la centuriation de l'Africa romaine ? », *Archéologia*, n° 320, 1996, pp. 7-9.
- Decramer, Lionel R. & Hilton, Richard, « Nouvelles recherches sur la grande centuriation de l'Africa Nova », *Cahiers de Métrologie*, t. 16, 1998, pp. 5-50.
- Decramer, Lionel R. & alii, « Quand les Romains mesuraient l'Afrique », *Archéologia*, n° 347, 1998, pp. 46-51.

- Decramer, Lionel R., *Contribution des techniques spatiales à l'archéométrie*, Université Internationale d'été, Tunis, 1998, (file:///E:/html/tunis/sommaire/ confe/confe14/conf/1.0.htm).
- Decramer, Lionel R. & alii, « Nouvelles découvertes dans le Sud tunisien. Les 'lithophones' du Bled Segui », *Revue Cnesquise passe ?*, n° 98, 1999, pp. 32-33.
- Decramer, Lionel R. & Etcheto, P., « Les centurions triangulateurs de la 3^e légion Auguste », *XYZ*, n° 78, 1^{er} trimestre 1999a, pp. 73-81.
- Decramer, Lionel R. & Etcheto, P., « À propos d'archéologie et d'arpentage antique », *XYZ*, n° 81, 1999b, pp. 80-81.
- Decramer, Lionel R. & Hilton, Richard, « Le problème de la grande centuriation de l'*Africa Nova*. Esquisse d'une solution », *Les cahiers de la Tunisie*, t. XLIX, n° 174, 1999, pp. 43-95.
- Dedron, Pierre & Itard, Jean., *Mathématiques et mathématiciens*, Paris, Éd. Magnard, 1959.
- D'Hollander, Raymond, *Topographie*, Paris, IGN, 1968.
- *Sciences géographiques, connaissance du monde et conception de l'univers dans l'Antiquité*, Association Française de Topographie, 1989a.
- *Les fondements de l'astronomie mathématique et les tables de l'Almageste de Ptolémée*, AFT, fasc. III, 1989.
- Dilke, Oswald W., *Les arpenteurs de la Rome antique*, Sophia Antipolis, Éd. APDCA, trad. 1995 (édition originale, 1971).
- Guy, Max, « Les orientations des parcellaires quadrillés », *Revue Archéologique de la Narbonnaise*, 93-26, 1993, pp. 57-68.
- Hultsch, Fr., *Griechische und Römische Metrologie*, Berlin, 1882 (2^e éd.).
- Lamy, Alain, *Note de calcul du département de Mathématiques Spatiales au CNES*, Août 1999.
- Le Gall, Joël, « Les Romains et l'orientation solaire », *Mélanges de l'École Française de Rome, Antiquité*, 87-1975-1, pp. 287-320.
- Legendre, Marcel, « Note sur la cadastration romaine de Tunisie », *Les cahiers de la Tunisie*, n° 19-20, 1957, pp. 135-166.
- Levallois, Jean-Jacques, *Géodésie générale*, Paris, Éd. Eyrolles, t. 1, 1969.
- « Mesurer la terre », Association Française de Topographie, Paris, 1988.
- Ozanam, M., *Traité de l'arpentage et du toisé ou Méthode courte et facile pour arpenter et partager toutes sortes de terrains, et toiser toutes sortes d'étendues*, Paris, éd. Firmin-Didot, an XII -1803.
- Perez, Antoine, « Les cadastres antiques de la cité de Béziers. Systèmes inédits et problème de chronologie », *Revue Archéologique de Narbonnaise*, 23, 1990, pp. 33-51.
- « Les cadastres antiques en Narbonnaise occidentale », *Revue Archéologique de Narbonnaise*, suppl. 29, 1995, pp. 51-73.
- Peterson, John W., *Flavian fort sites in South Wales: a spreadsheet analysis*, CAA, 1994 (communication de l'auteur).
- Roth-Congés, Anne, « Modalités pratiques d'implantation des cadastres romains : quelques aspects », *Mélanges de l'École Française de Rome Antiquité*, 108, 1996-1, pp. 299-422.
- *La « variation dans les territoires » de M. Iunius Nypsus : une application des propriétés des triangles semblables à la construction cadastrale*, Cité et Territoire - II^e colloque européen, 1997.

Serres, Michel, *Les origines de la géométrie*, Paris, Flammarion, 1993.

Toutain, Jules., « Le cadastre de l'Afrique romaine. Étude sur plusieurs inscriptions recueillies par le capitaine Donau dans la Tunisie méridionale, *Mémoires de la Société Nationale des Antiquaires de France*, 1905, n° 64, pp. 227-235 et *Mémoires de l'Académie des Inscriptions & Belles-Lettres*, t. 12, 1907, pp. 341-382.

- « Le cadastre de l'Afrique romaine » et « Note d'épigraphie et d'archéologie tunisienne », *Mémoires de la Société Nationale des Antiquaires de France*, t. 10, 1910, pp. 79-103.

Trousset, Pol, « Les bornes du Bled Segui. Nouveaux aperçus sur la centuriation romaine du sud tunisien », *Antiquités africaines*, Aix-en-Provence, Cnrs, t. 2, 1978, pp. 125-177.

- *Nouveau document sur la limitatio de C. Vibius Marsus* (Sud tunisien), *Roman Frontier Studies*, 1995, (communication de l'auteur).

- « Les centuriations de Tunisie et l'orientation solaire », *Antiquités africaines*, Aix-en-Provence, Cnrs, t. 33, 1997, pp. 95-109.

- « Territoires de tribus et frontière au sud de l'*Africa Proconsularis* », *II^e Colloque sur les Hautes Steppes*, Sbeitla, 1999.

Pour une bibliographie plus exhaustive, voir le document réalisé par P. Poupet & F. Favory, dans *Revue Archéologique de Narbonnaise*, 1993, pp. 171-178.

NOTES

1.Serres, M., 1993.

2.*Finitores* : ceux qui marquent les limites (selon A. Perez, à paraître), *gromatici* :ceux qui utilisent la *groma*, ce sont des géomètres ou mieux des géodésiens.

3.O. Dilke ouvre à juste titre son ouvrage sur un chapitre « Géodésie et arpentage pré romains »

4.On consultera avec profit les ouvrages généraux de R. d'Hollander, 1968 et de J.-J. Levallois, 1970 et 1988.

5.Par exemple, le triangle d'orientation Kalaa es Senam (Table de Jugurtha), Bou el Hanèche, El Azered ; sommets qui concernent plus particulièrement la grande centuriation tunisienne.

6.En France, la triangulation s'appuie sur quatorze bases et le *datum* se situe sur la croix du Panthéon à Paris.

7.On citera à titre d'exemple G. Chouquer & F. Favory, 1992 et l'Atlas des centuriations de Tunisie, IGN 1954.

8.Dilke O. W., 1971, p. 100.

9.Ce manque de rigueur est reproché par Hygin Gromaticus à certains arpenteurs.

10.Barthel, W., 1911, p. 39.

11.Pour l'essentiel, car on a noté près de Gabès des cadastres lotis qui s'intègrent dans ce carroyage, comme certaines voies romaines qui rentrent en diagonale. Ces « cadastres » n'ont pas encore fait l'objet d'étude spécifique.

12.Raymond Donau a été détaché, en mars 1900, aux Affaires Indigènes comme commandant supérieur au cercle de Kebili, où il sera ensuite nommé Chef de Bataillon, en juin 1907. Outre la découverte de ces bornes gromatiques, il a retrouvé et étudié les milliaires de la via Asprenas, ainsi que d'autres sites archéologiques majeurs de cette région.

13. Toutain, J., 1905, pp. 341-382 et 1907, pp. 227-235.
14. Toutain, J., 1907, pp. 354-359 et 1910, pp. 79-103.
15. Barthel, W., 1911, pp. 39-126. 18. Legendre, M., 1957, pp. 135-166.
16. Davin, P., 1930-1931, pp. 689-699 et note additive, pp. 130-132.
17. Decramer, L.R. & Hilton, R., 1999, p. 79, Figure 1.
18. Legendre, M., 1957, pp. 135-166.
19. Chevallier, R., 1958, p. 61.
20. Troussel, P., 1978, pp. 125-177.
21. Barthel, W., 1911, pp. 60-67.
22. Davin, P., 1930-1931, pp. 689-699 et note additive pp.130-132.
23. Troussel, P., 1978, pp. 176-177.
24. Troussel, P., 1995, p. 7. Il pense que les chiffres correspondaient à un nombre récapitulatif « comme dans un rapport ». Il faudrait lire : Q LXVI (56e *quintarius* → 330) et > XL (40^e centurie).
25. Troussel, P., 1999. Il fait encore une erreur dans sa note rectificative (note de bas de page 29) en lisant : « ... (centuriae) XI (= 66*5 centuries + 11) ». Il faut lire 330 en dd et 40 en uk. Dans ce cas, la borne est parfaitement à sa place dans le carroyage romain. Les sources qui l'ont conduit à rectifier son « interprétation minimaliste » ne sont pas citées.
26. Decramer, L.R. & Hilton, R., 1998, p. 37. Decramer, L.R., 1998.
27. Decramer, L. R. & alii, 1999, pp. 32-33.
28. Decramer, L. R. & alii, 1998.
29. Catalogue des bornes gromatiques du Sud tunisien. Note technique, ASC/CNES, version juillet 1999.
30. Station totale Sokkia, c'est un théodolite associé à un télémètre infra rouge.
31. Barthel, W., 1911, p. 71 et Troussel, P., 1978, p. 132.
32. Dilke, O., 1971, p. 102.
33. Par convention, nous avons appelé K0, D0 les axes à l'origine d'arpentage, c'est la borne (0,0), et KM, DM les axes majeurs définis au *datum*, l'observatoire. Il n'est pas nécessaire que les deux centres : lieu d'orientation astronomique et lieu d'arpentage soient confondus, c'est le cas généralement en géodésie moderne. Cet aspect est une de nos contributions à une réflexion d'ensemble sur la question.
34. Decramer, L. R. & alii, 1999, pp. 43- 96.
35. Le point fondamental pourrait être le marabout Sidi Abdel Djoued situé sur la Table de Jugurtha près duquel deux voies orthogonales sont tracées et qui seraient alors la matérialisation du *Kardo Maximus* et du *Decumanus Maximus*.
36. Legendre, M., 1957, pp. 154 et suivantes.
37. La différence entre ces deux routes est égale à la convergence des méridiens, ici environ 0,2°.
38. Guy, M., 1993, pp. 57-68.
39. Decramer, L. R. & Etcheto, P., 1999a, pp. 76-77.
40. Les justificatifs techniques, qui n'ont pu prendre place ici, sont à la disposition des chercheurs intéressés.
41. Nord Géographique Romain (NGR). C'est le nord du cadastre tel qu'on peut le déterminer d'après sa figure géométrique. Ici, l'orientation de la diagonale B19-B23 dans la grille, plus l'orientation du carroyage dans le repère absolu (orientation solaire, voir infra chap. 4).

42. Dilke, O. W., 1971. Chouquer, G. & Favory, F., 1992. D'Hollander, R., 1989 et années suivantes.
43. Adam, J.-P., 1982.
44. Roth-Congés, A., 1996, pp. 315-328. Chouquer, G. & Favory, F., 1992, pp. 86-88.
45. La « cultellation » présentée dans Chouquer, G. & Favory, F., 1992, p. 87, est une opération de nivellement, or il s'agit ici de planimétrie. Elle serait irréalisable sur de grands parcours.
46. Le fluminis varatio présenté dans Chouquer, G. & Favory, F., 1992, p. 85, est d'une mise en œuvre laborieuse avec la groma classique. L'opération serait grandement facilitée avec une groma losangique.
47. Ozanam, M., 1803, p. 256.
48. Roth-Congés, A., 1996, pp. 299-422.
49. Roth-Congés, A., 1996, p. 202.
50. Roth-Congés, A., 1997, pp. 167-184.
51. Perez, A., 1995, pp. 51-52.
52. Assénat, M., 1996, pp. 13-36.
53. « Il y a six classes à considérer dans un triangle, qui sont les trois angles et les trois côtés. Or, il y a trois circonstances dans lesquelles il suffit de connaître trois de ces six parties, pour pouvoir trouver les trois autres » (Ozanam, M., 1803, p. 244).
54. C'est le principe bien connu du glissement de l'équerre sur la règle du dessinateur pour tracer des parallèles.
55. Pour ne citer que certains : M. Assénat, 1996 ; M. Clavel-Lévêque, 1991 ; M. Guy 1993 et A. Perez, 1995.
56. Decramer, L. R. & alii, 1998, p. 46.
57. Decramer, L.R. & Hilton, R., 1998, pp. 5-50.
58. Ligne de progression : le géomètre vise et progresse selon la diagonale du rectangle, ici selon la méridienne.
59. Nous avons exprimé les coordonnées sous une forme algébrique qui est, de nos jours, un langage universel, mais on aurait l'équivalent soit sous forme graphique (géométrique), soit sous forme d'abaques, mais aussi à partir des propositions d'Euclide, Livre I, prop. 27 et Diophante l'Alexandrin : trouver deux nombres tels que leur somme et leur produit forment des nombres donnés. (Cf. P. Dedron & J. Itard, 1959).
60. Quasi-losange : il est formé de deux demi-rectangles (ici de côtés 7 et 10) ayant pour symétrie l'hypoténuse (symétrie dans un miroir). Cette figure est remarquable, car ses deux diagonales sont orthogonales (comme le carré et le losange), ce qui n'est pas le cas du rectangle. Ainsi une groma construite selon ce quasi-losange possède la particularité d'avoir deux diagonales orthogonales et deux angles au sommet droits, comme dans une groma carrée classique.
61. Dedron, P. & Itard, J., 1959, pp. 317-332.
62. Le Gall, J., 1975, pp. 287-320.
63. C'est encore le reproche d'Hygin Gromaticus à ceux qui ont « renoncé à tenir compte du ciel ». « Tenir compte du ciel » est la seule règle, les autres « systèmes » de J. Le Gall ne sont guère plausibles.
64. Guy, M., 1993, pp. 57- 68.
65. Decramer, L. R. & Etcheto, P., 1999b, p. 80.
66. Lamy, A., 1999. Nous le remercions vivement pour sa contribution.

67. En Pays de Galles, l'erreur d'orientation est plus sensible (environ 7') et cet aspect devrait être pris en compte dans l'étude des centuriations (cf. J. W. Peterson, 1994). Pour des latitudes plus septentrionales, Thulé, par exemple, la méthode ne fonctionne plus que six mois dans l'année — ce qui ne change rien à la question — étant donné que les géomètres ne travaillent pas la nuit. On arrive, enfin, au cas extrême, évident mais paradoxal, qu'au pôle Nord la détermination du sud est...indéterminée.
68. D'Hollander, R., 1989, chap. 15.2.2., Ombres du gnomon.
69. Decramer, L.R. & Hilton, R., 1999, annexe 1. Son orientation serait en fait 29,05° (ratio 5/9).
70. Troussel, P., 1997, pp. 95-109. Cette étude s'est largement inspirée de nos travaux.
71. Guy, M., 1993, pp. 57-68. Cette synthèse sur l'orientation des cadastres est remarquable à plus d'un titre.
72. Guy, M., 1993, nombre de cas des orientations décelées, p. 60, Figure 2.
73. Dilke, O.W., 1971, p. 86.
74. Si l'angle est pris sur le carroyage Lambert des cartes, l'erreur est au moins égale à la convergence des méridiens.
75. Hultsch, F., 1882. Chouquer, G. & Favory, F., 1992, pp. 110, 134 et suivantes.
76. Cette dispersion est de $\pm 0,5\%$, c'est-à-dire une centurie comprise entre 703 et 709 m. C'est une illusion de vouloir l'attribuer à une quelconque chronologie.
77. L'exemple cité par M. Guy, 1993, p. 66, est un cas particulier.
78. Barthel, W., 1911, p. 74.
79. Troussel, P., 1978, p. 154.
80. Chevallier, R., 1958, p. 97.
81. Depuis la présentation de cet article, le catalogue (version juillet 2000) s'est enrichi de nouvelles bornes dont certaines inédites, le nouveau fichier en contient 31.

RÉSUMÉS

Les Romains, intéressés surtout par l'application pratique des connaissances techniques de la Grèce, ont porté à un haut degré la profession de géomètre-géodésien et leur plus grande centuriation connue, située dans l'ancienne *Africa Nova*, en est un exemple parfait. Le cadastre étant par nature une construction géométrique, il est possible à partir de ses bornes gromatiques de reconstituer le carroyage et de tenter d'en comprendre ses principes. On examinera d'abord les constructions géométriques candidates pour cette centuriation tunisienne, puis à partir des nouvelles découvertes faites près du Chott el Fejej, on proposera des solutions. On étudiera ensuite certaines méthodes d'orientation et de construction de ces carroyages qu'on confrontera aux tracés relevés sur le terrain. Enfin, on envisagera les perspectives offertes par ce monument géographique tant pour retrouver d'autres témoins en place que pour une meilleure compréhension des sciences et des techniques cadastrales dans l'Antiquité.

Geometrical Approach to Roman Centuriation. New Gromatic Stones of Bled Segui. The Romans, principally interested in the practical application of Greek technical knowledge, developed geodesic surveying to a high degree and their largest known centuriation, situated in the ancient province of *Africa Nova* is a perfect example. Since the cadastre relies on a geometrical layout, it is

possible to reconstruct the grid and try to understand its principles. We first examine the geometrical constructions that could have served for *centuriation* in Tunisia before proposing solutions based on new discoveries made near Chott el Fejej. We go on to study certain methods for orienting and constructing the grids which we compare with the lines plotted on site. Finally, the perspectives opened up by this geographical monument are considered from the points of view of both to find other stones in place and that of better understanding cadastral science and techniques in antiquity.

INDEX

Mots-clés : métrologie, archéologie

Index chronologique : Antiquité

Index géographique : Afrique

AUTEURS

LIONEL R. DECRAMER

Section archéologique ASC/CNES, CNES, 18, av. Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 4,
Lionel.Decramer@cnes.fr

RACHID ELHAJ

ISSET de Radés, rue de Jérusalem, BP 172 Radés Médina 2098, Tunisie

RICHARD HILTON

Section archéologique ASC/IGN, IGN/Espace, Parc Technologique canal, 31527
Ramonville-St-Agne Cedex, richard.hilton@ign.fr

ALAIN PLAS

Section archéologique ASC/CNES, MMI, Espace entreprise B13, 16 av. Charles De Gaulle,
31138 Balma Cedex, mmi@wanadoo.fr