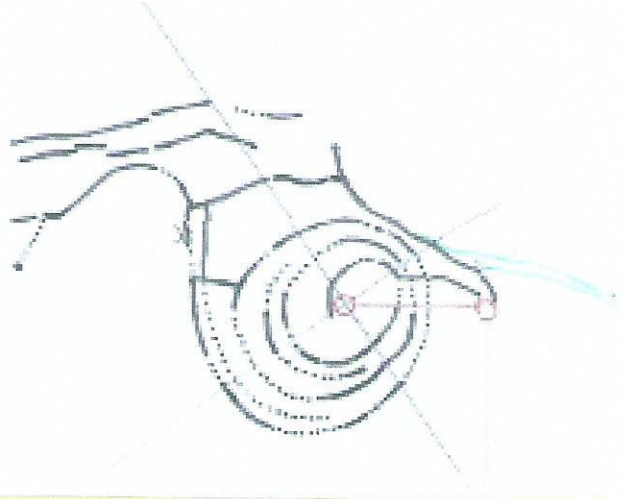
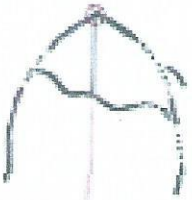
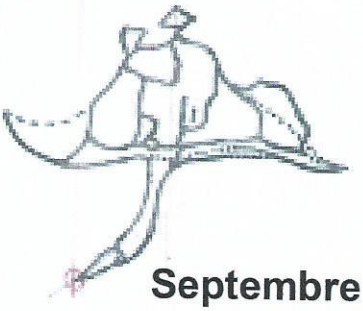




Le plus ancien et le plus grand cadran solaire au monde...

par Jean-Pierre VERGNE



Septembre 2013

Vergne Jean-Pierre

Lieu- dit Richemont

79250 Nueil-Les-Aubiers

S.A.F. Sociétaire N ° : 22465 S

Jpv-richemont@wanadoo.fr

Le 20/09/2013

Monsieur

Ce dossier, pour vous présenter ce qui est probablement un des plus anciens et des plus grands cadrans solaires au monde. Cela concerne également l'histoire de l'Astronomie et la Préhistoire. L'endroit se situe au sud-est de la ville de Cholet ; sur les communes de Saint-Aubin-de- Baubigné et de Nueil-Les-Aubiers. Comme rien n'est visible au sol, la matière première se trouve sur le site Géoportail de l'IGN.

En tant que géomètre topographe, j'ai travaillé pendant 6 ans dans une société de photogrammétrie et c'est en recherchant sur les photos IGN de ma région, des traces laissées par nos ancêtres de la préhistoire que j'ai trouvé de nombreuses enceintes, de grands arc de cercles, des triangles équilatéraux, qu'ils utilisaient la coudée mégalithique (0.55 m) pour les mesures de distances et 3,4,5 pour reporter des angles droits. Visiblement, nos ancêtres connaissaient les mathématiques et savaient les appliquer sur le terrain. C'étaient aussi des artistes qui pratiquaient le "Land Art". Pour moi il devenait évident qu'ils devaient aussi pratiquer l'astronomie.

Il s'agit de 2 droites pour l'observation du soleil au solstice d'hiver de 5.5km et de 15 km et d'un cadran solaire calendrier sur une surface 1km² environ. En utilisant les variations de l'obliquité de l'écliptique, j'ai daté cet ensemble aux environs de – 2500 ans, mais il n'y a rien de définitif car je ne suis pas astronome et ma méthode est critiquable. Les graphiques et les tableaux sont faits pour être présentés et compris par les membres d'une société d'histoire locale.

Les documents sont présentés en 3 parties dans l'ordre des découvertes :

1) La droite des GUYONNIERES, la formation circulaire des GUYONNIERES, la spirale des LOGES.
2) La droite des OULLERIES.
3) Les dernières découvertes.

Je pense qu'il y a d'autres systèmes de ce genre à découvrir parce que les informations récoltées étaient d'une grande importance pour l'agriculture et ne devaient guère dépasser un rayon de 60 à 80 kilomètres.

En vous souhaitant bonne réception, recevez Monsieur mes sincères salutations.

1) LA DROITE DES GUYONNIERES

5.500 km. - 2500 ans

__ Le départ de cette droite est très bien choisi, avec un plan faiblement incliné sur 1.200 km à l'altitude 180 m visant un point horizon sur la commue de NOIRTERRE distant de 25 km à l'altitude de 181 m.

__ Les photos sont des copies d'écran du site GEOPORTAIL de l'IGN. Les longueurs mesurées en millimètres et dixièmes de millimètres sur les photos doivent être multipliées par le facteur d'échelle pour avoir les distances réelles entre points.

__ 10 images à échelle moyenne composent la mosaïque de l'ensemble.

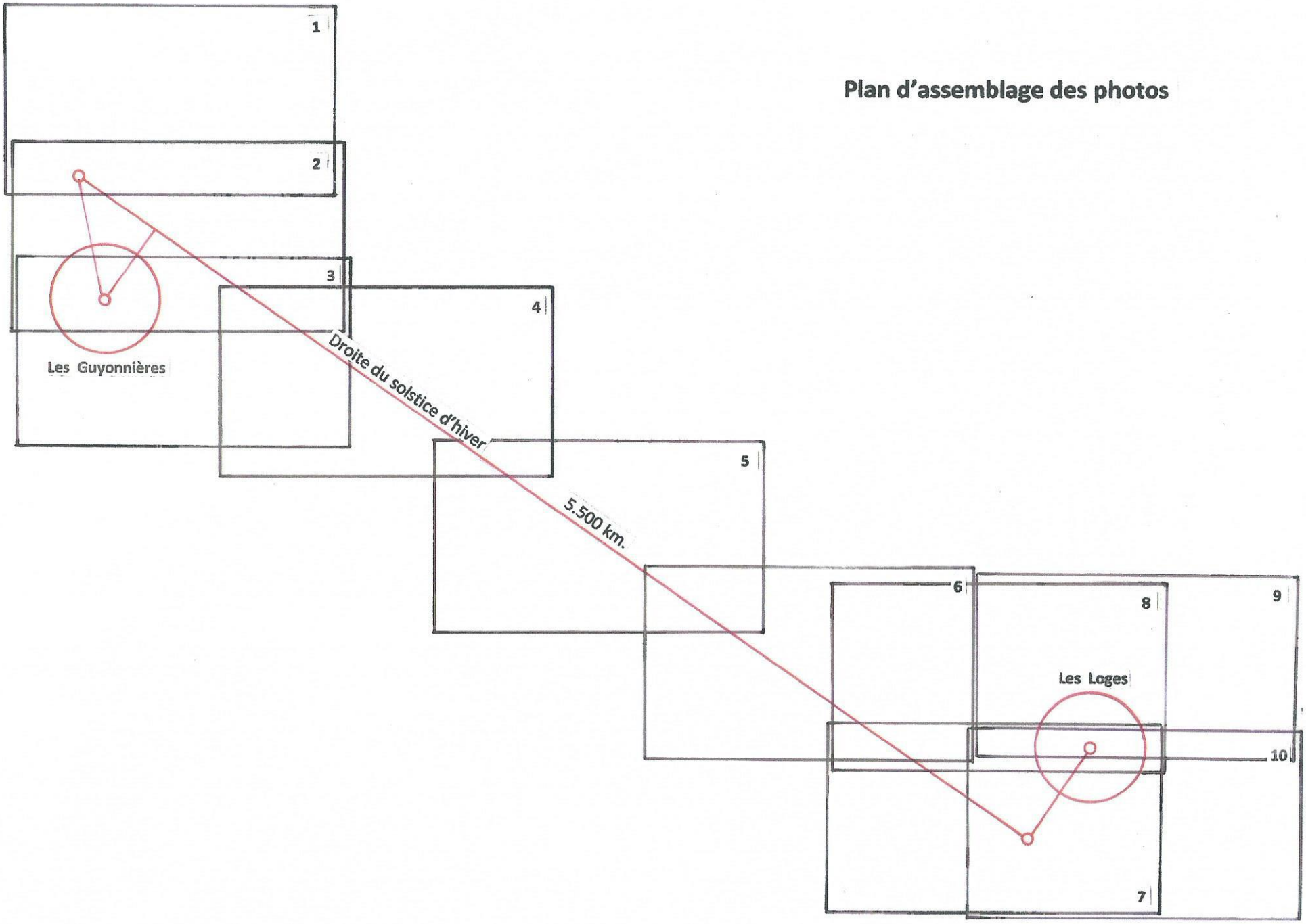
__ 4 images à plus grande échelle montrent les points choisis en coordonnées LAT LONG, ensuite, avec un transparent, les latitudes et longitudes sont relevées sur GOOGLE EARTH qui après transformation en coordonnées cartésiennes donnent l'azimut géodésique et les distances entre points.

__ Les variations de l'obliquité de l'écliptique sont relevées graphiquement sur la courbe du livre ASTRONOMICAL ALGORITHMS de Jean MEEUS puis après calcul, les différents azimuts géodésiques au lever du soleil le solstice d'hiver sont corrigés de la réfraction atmosphérique toujours avec l'aide du livre de Jean MEEUS. Le 3me cas, quand le bord inférieur du soleil est tangent à l'horizon, est retenu pour avoir l'âge de la droite.

__ Sur la photo du cercle des GUYONNIERES ont remarquera comment j'ai choisi le PK 0.00 en construisant un triangle rectangle dont l'hypoténuse passe par l'entrée du chemin au Nord. Voir également l'enceinte rectangulaire à droite du cercle. Ce cercle était-il un observatoire ?

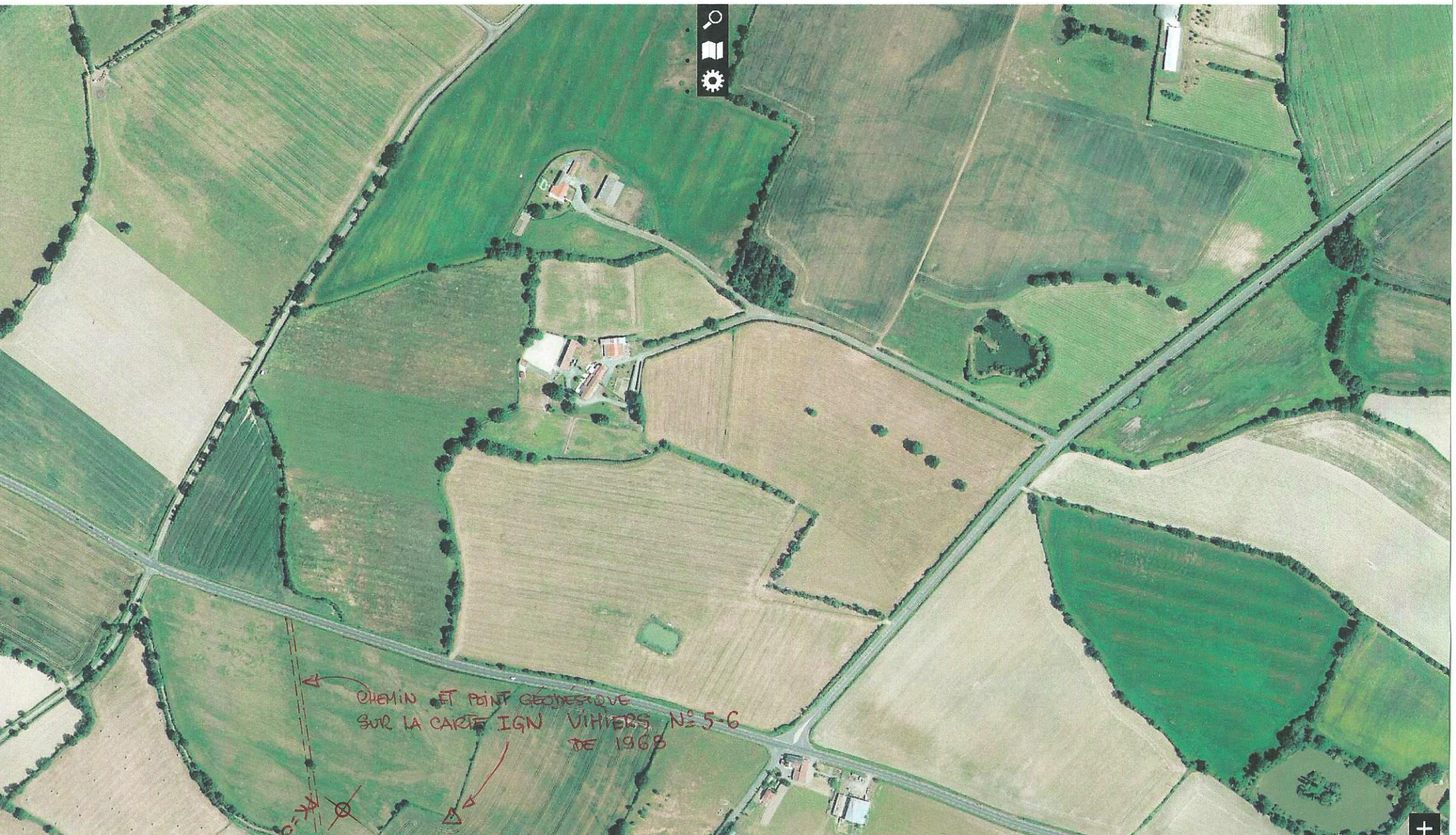
__ La formation des LOGES avec ses lignes rayonnantes est un calendrier et on n'a pas attendu Pythagore pour en fixer le centre perpendiculaire à l'extrémité de la droite du solstice d'hiver. Un cercle de même diamètre que celui des GUYONNIERES ne se marie pas bien avec les haies et après avoir essayé plusieurs ellipses c'est finalement la spirale que j'ai retenue. Comme on peut le voir dans le très intéressant livre THE STONES OF TIME Calendars, Sundials, and Stone Chambers of Ancient Ireland de MARTIN BRENNAN, les spirales sont nombreuses sur les monuments mégalithiques ce qui confirme l'ancienneté de la formation des LOGES et de la droite des GUIYONNIERES.

Plan d'assemblage des photos



2060 m. ÷ 385.3 = $\boxed{5.34648}$ FACTEUR D'ÉCHELLE

PK = POINT KILOMÉTRIQUE

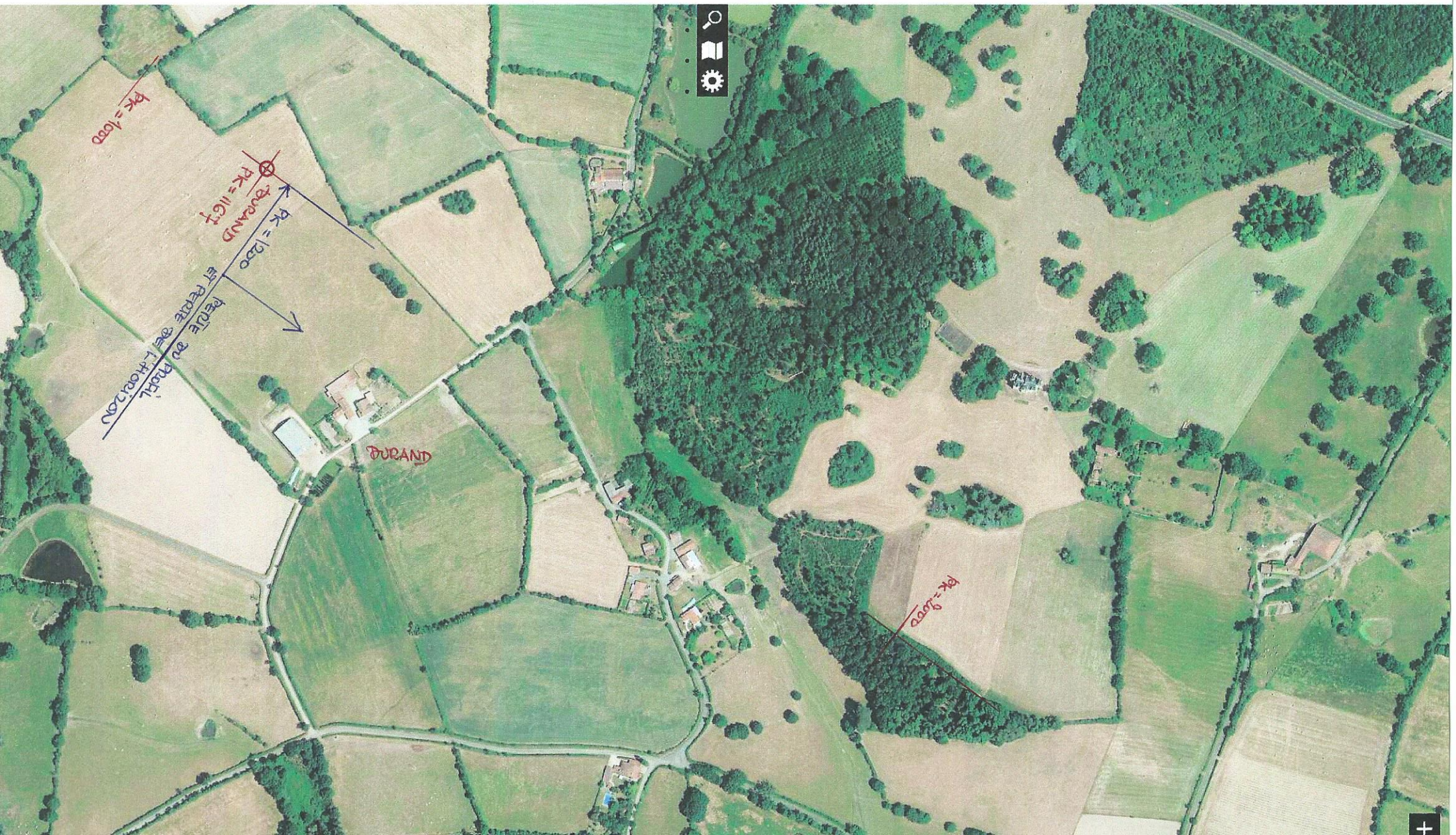


PK=0
LES GUYONNIÈRES
PK=1000
BUCANY
PK=1167

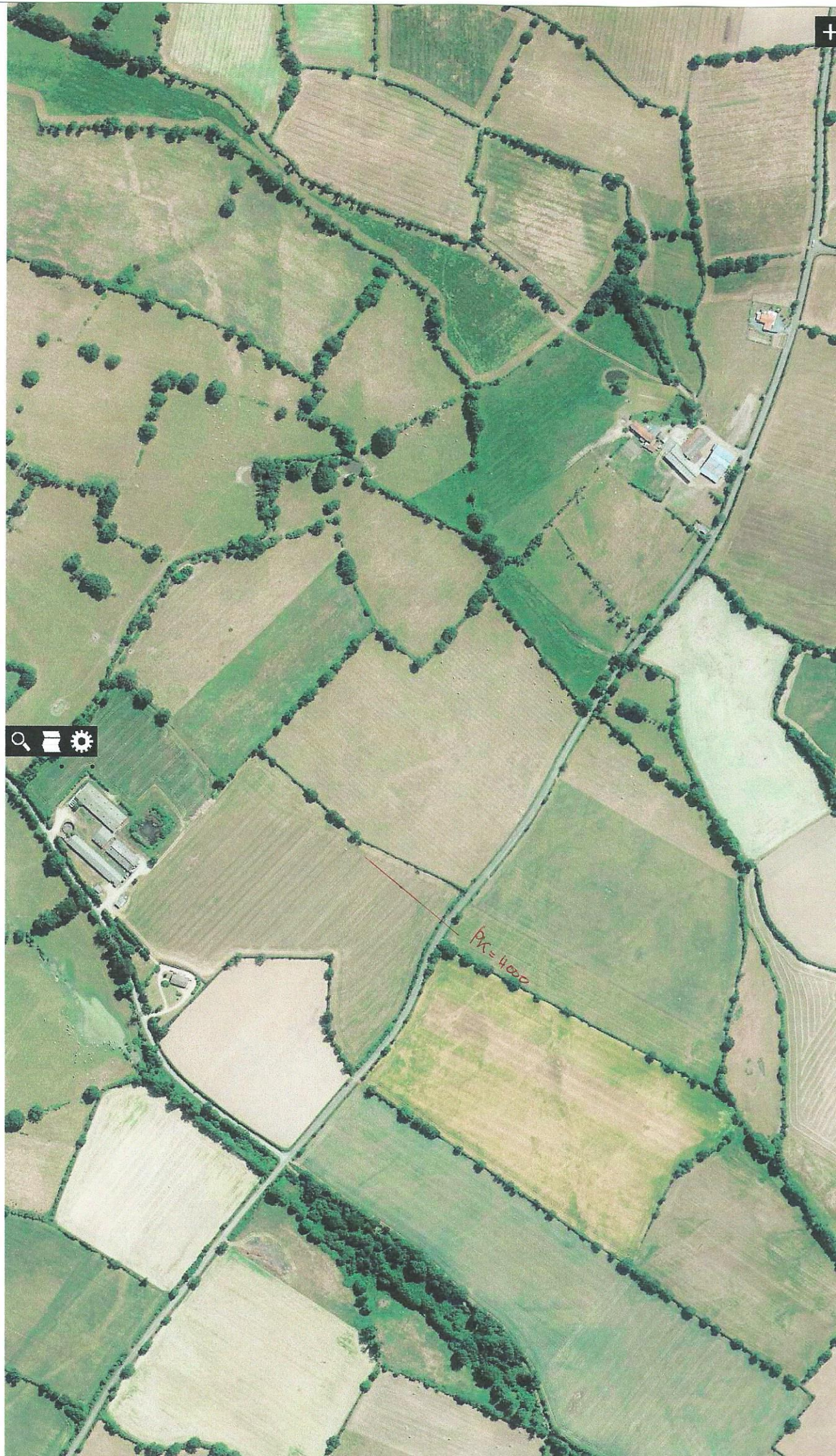
LES GUYONNIÈRES
DURAND

2060 m. / 385.3 mm = $\boxed{5.34648}$ FACTEUR D'ÉCHELLE

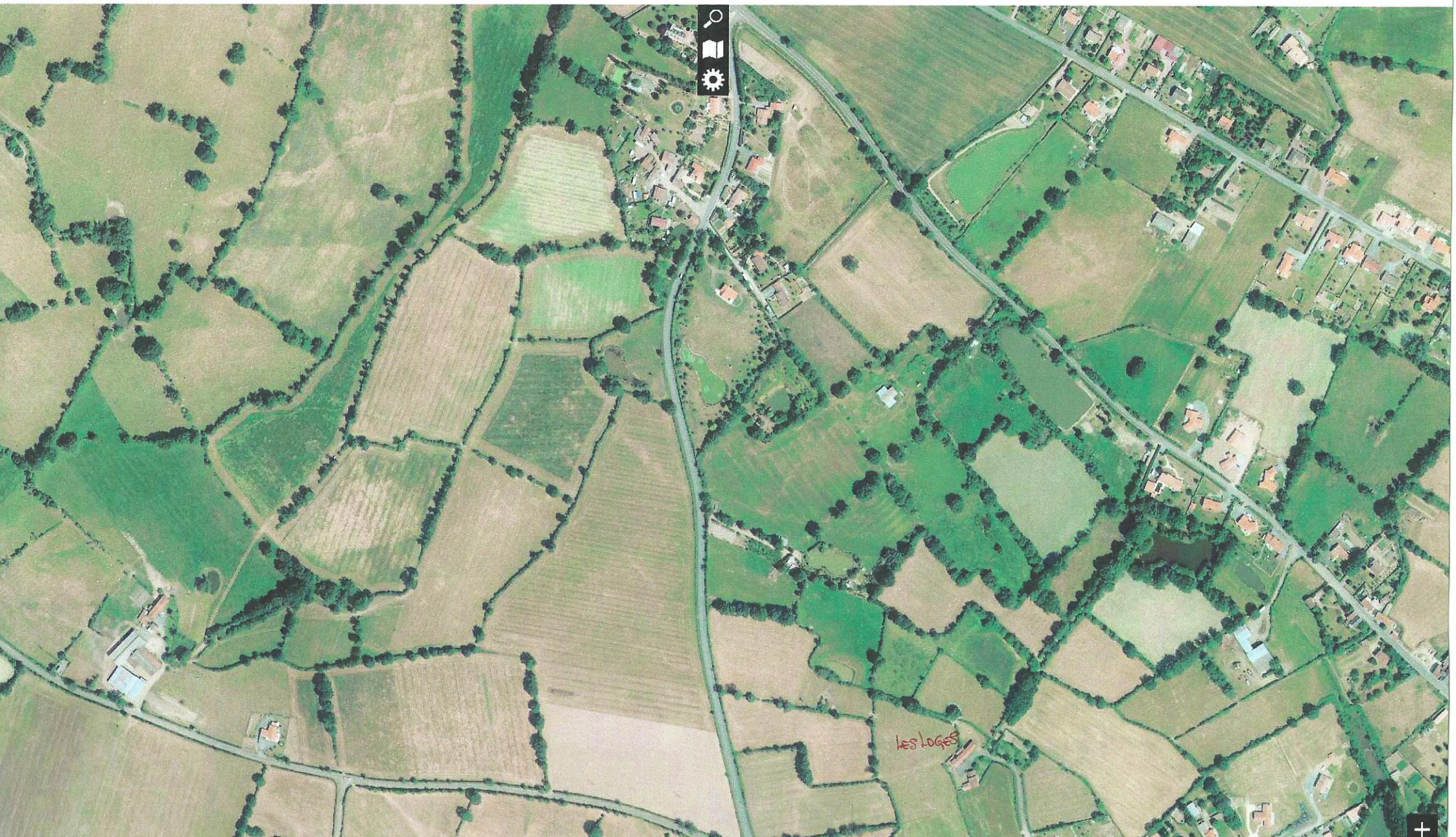
4



PK = 3000


PK = 400

LES LOGES
LE PETIT BOUET
PK = 5467
FIN DE LA DROITE
PK=5300
PERTE DE L'HORIZON
PK= 5000
LE PETIT BOUET
PK 4800
LA HOUNIEDE
VUE DE L'HORIZON
PK = 4800
PK=4660
PERTE DE PROFIL


LES LOGES

10

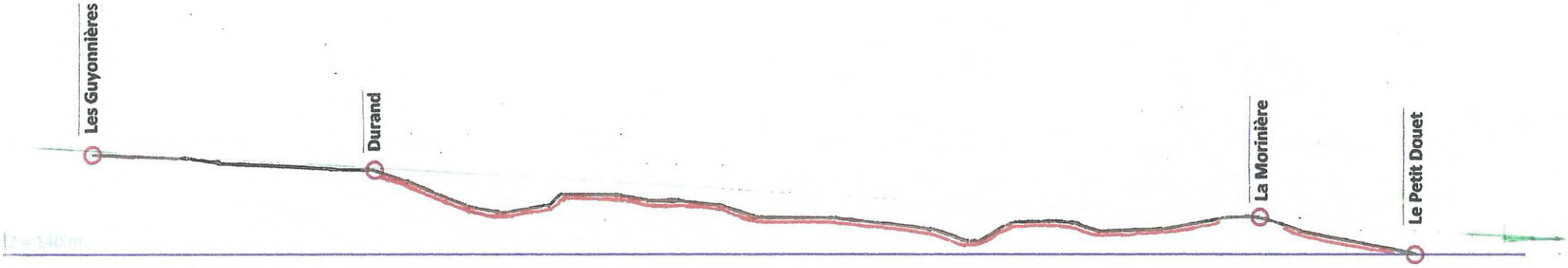
PK = 5200
PERTE DE L'HORIZON
LE PETIT BOUET
PK = 5467
FIN DE LA PROTECTION

Profil en long de la droite du solstice

Echelle horizontale 1/25000

Echelle verticale 1/2500

Perte du profil



LES GOYONNIÈRES

LAT = 46° 58' 55" 86
LONG = 0° 39' 49" 15
Z = 180 m.

DURAND

LAT = 46°58'33"35
LONG = 0°39'04"86
Z = 173 m.

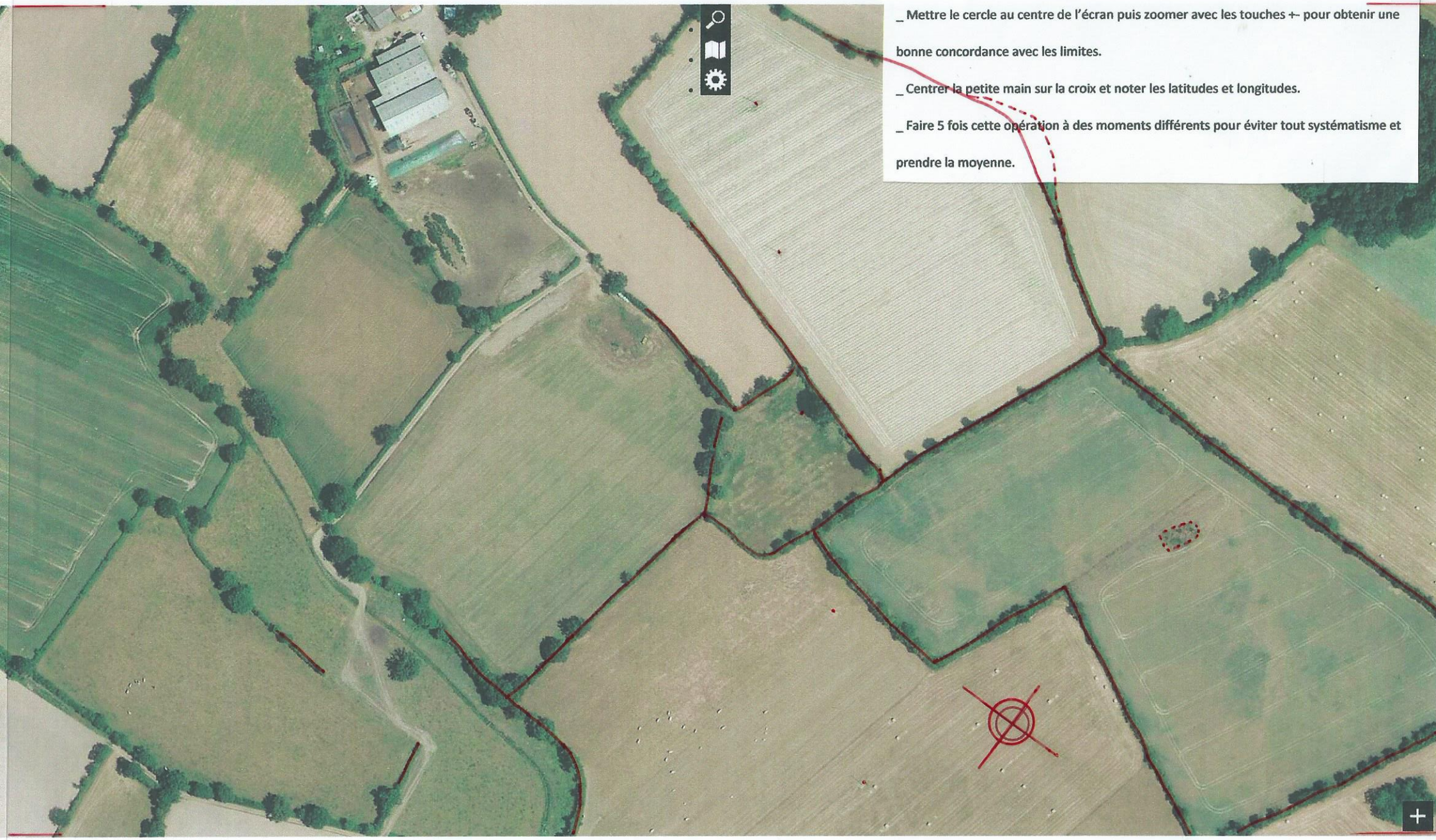
DURAND

TRANSPARENT POUR AMELIORER LES POINTERS DE COORDONNEES AVEC GOOGLE EARTH

_ Mettre le cercle au centre de l'écran puis zoomer avec les touches +- pour obtenir une bonne concordance avec les limites.

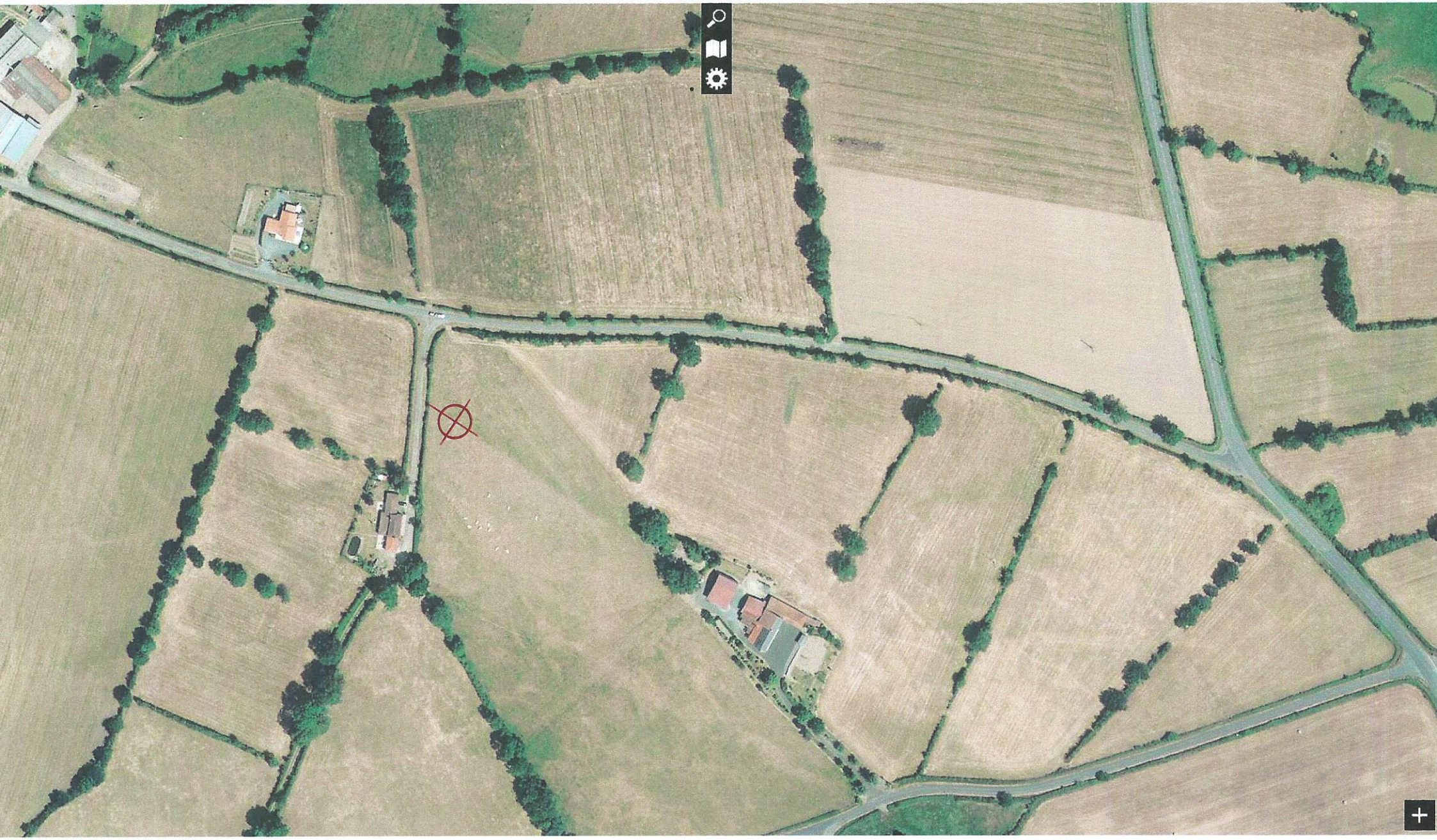
_ Centrer la petite main sur la croix et noter les latitudes et longitudes.

_ Faire 5 fois cette opération à des moments différents pour éviter tout systématisme et prendre la moyenne.



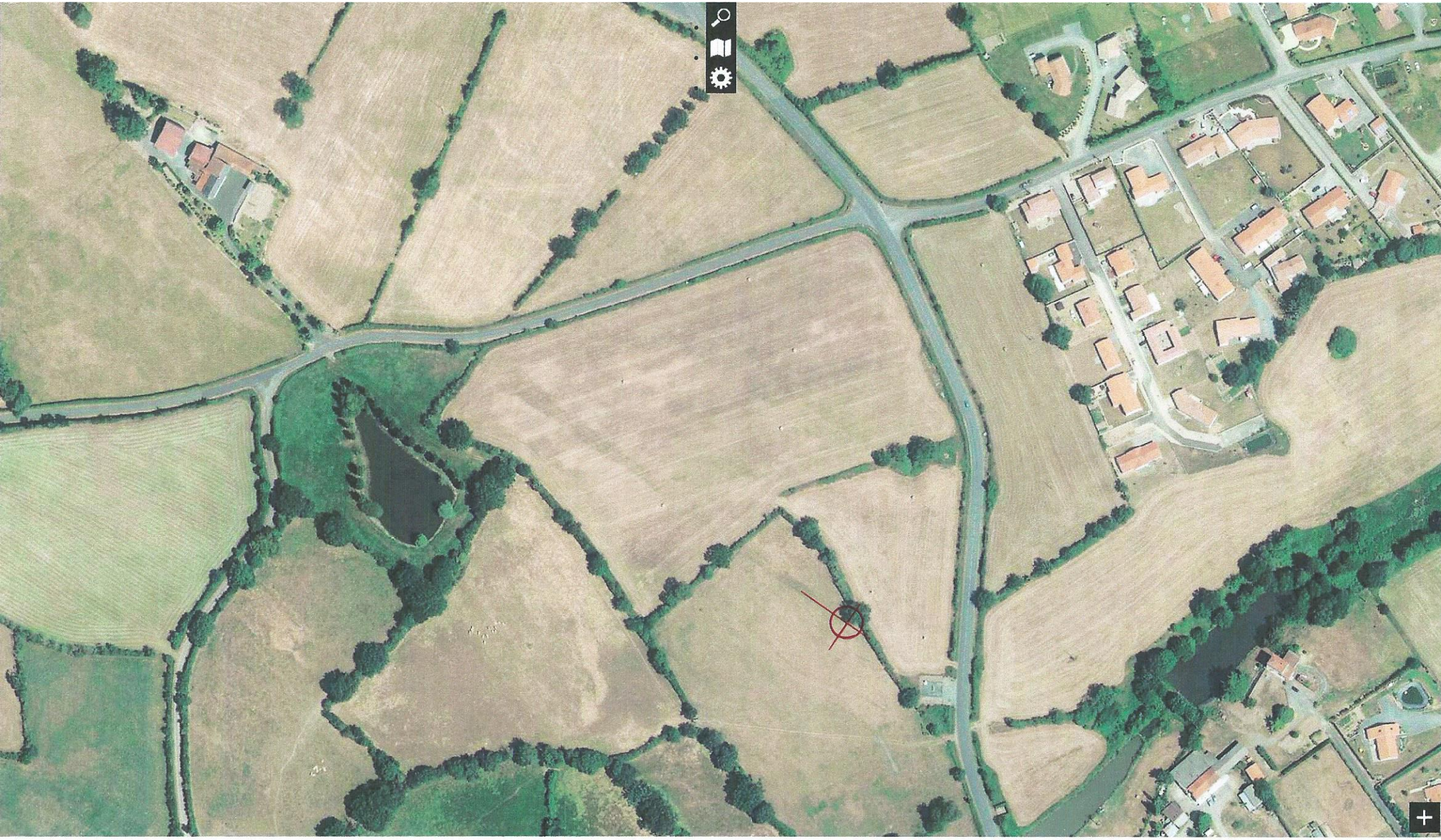
LA MORINIÈRE

LAT = 46°57'24"60
LONG = 0° 36' 42"19
Z = 153 m.



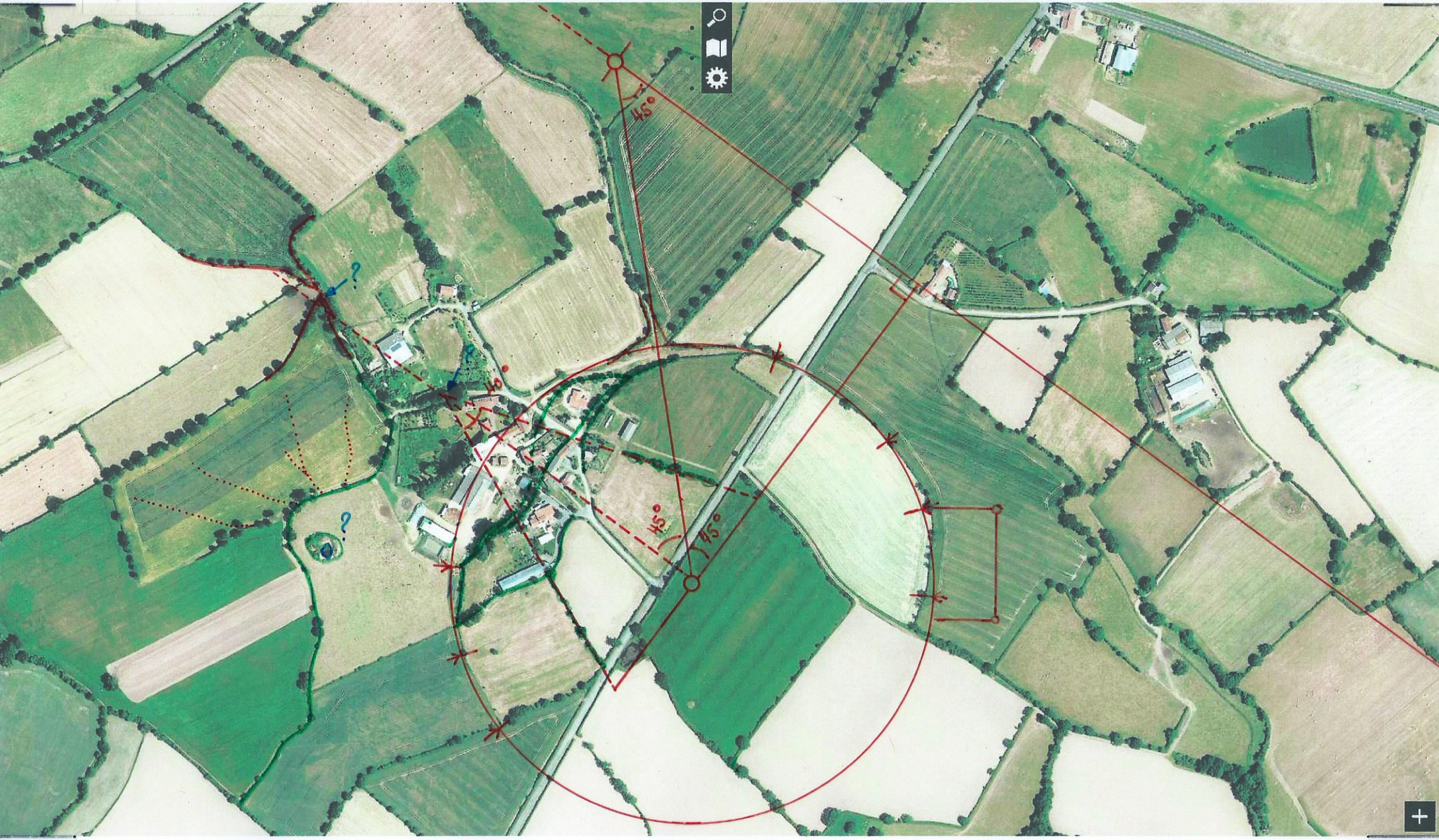
LE PETIT DOUET

LAT = 46°57'13"23
LONG = 0°36'18"16
Z = 138 m.



Le cercle des **Guyonnières**

260 m / 385.3 mm. = 5.34648 FACTEUR D'ÉCHELLE



R = 260 m = 473 Coudées (0.55)

Les Loges
Droite du solstice d'hiver

Le cercle des Loges

avec le même diamètre que les Guyonnières et les lignes rayonnantes

La spirale autour des Loges

LATITUDES LONGITUDES ALTITUDES des points importants.
Relevées sur GOOGLE EARTH après amélioration du système de pointé.

ϕ = Latitude **λ** = Longitude **Z** = Altitude

POINT à L'HORIZON

LIEU - DIT	ϕ	λ	Z
Noirterre	46°51'10''19	0°23'44''94	181 m.

Droite des GUYONNIERES

LIEU - DIT	ϕ	λ	Z
Guyonnières	46°58'55''86	0°39'49''15	180 m.
Durand	46°58'33''35	0°39'04''86	173 m.
La Morinnière	46°57'24''60	0°36'42''19	153 m.
Le Petit Douet	46°57'13''23	0°36'18''16	138 m.

Droite des Oulleries

LIEU - DIT	ϕ	λ	Z
Le bec de l'oie	46°58'16''18	0°41'02''02	177 m.
La tête de l'oie	46°58'09''98	0°41'00''31	173 m.
Le Noyon enceinte	46°55'47''67	0°36'05''06	119 m.
Hétivault	46°54'08''81	0°32'48''62	150 m.

CALCUL de l' AZIMUT GEODESIQUE et de la DISTANCE entre POINTS IMPORTANTS

après transformation des LAT LONG WGS84 en coordonnées cartésiennes.

Avec la formule du livre: **GPS localisation et navigation,** Serge Botton et autres. Editions HERMES (2000)

AZ = Azimut géodésique : Angle compté depuis le nord géographique dans le sens des aiguilles d'une montre.

DMS = Degrés,minutes,secondes.

Droite des GUYONNIERES

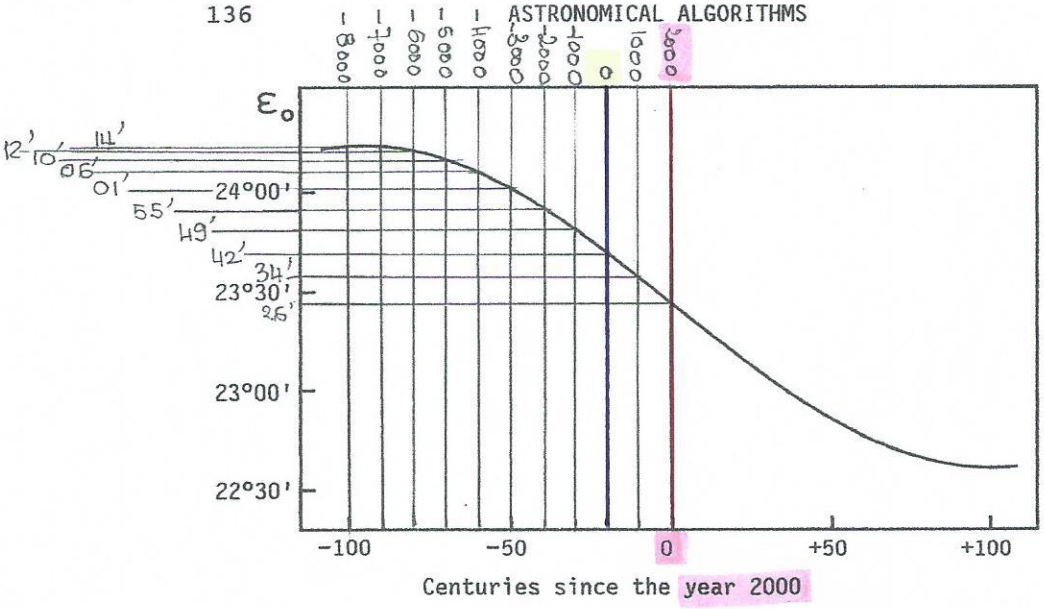
Depuis le point des GUYONNIERES

Vers	AZ DMS	Distance
Noirterre		24959 m.

Depuis le point des GUYONNIERES

Vers	AZ DMS	Distance
Durand	126°10'25"	1167 m.
La Morinière	125°27'32"	4852 m.
Le Petit Douet	125°19'46"	5467 m.

1) **Variation de l'obliquité de l'écliptique.**
2) **Calcul de l'azimut géodésique du soleil à son lever au solstice d'hiver** depuis -8000 ans jusqu'à +2000 ans pour la droite des **GUYONNIERES.**
3) **Calcul de la réfraction atmosphérique et datation de la ligne.**
4) **Discussion des données.**



Example 21.a — Calculate $\Delta\psi$, $\Delta\varepsilon$ and the true obliquity of the ecliptic for 1987 April 10 at 0^h TD.

This date corresponds to JDE 2446 895.5, and we find

$$T = -0.127\,296\,372\,348$$
$$D = -56\,383°.0377 = 136°.9623$$
$$M = -4225°.0208 = 94°.9792$$
$$M' = -60\,610°.7216 = 229°.2784$$
$$F = -61\,416°.5921 = 143°.4079$$
$$\Omega = 371°.2531 = 11°.2531$$

$$\Delta\psi = -3''.788$$
$$\Delta\varepsilon = +9''.443$$

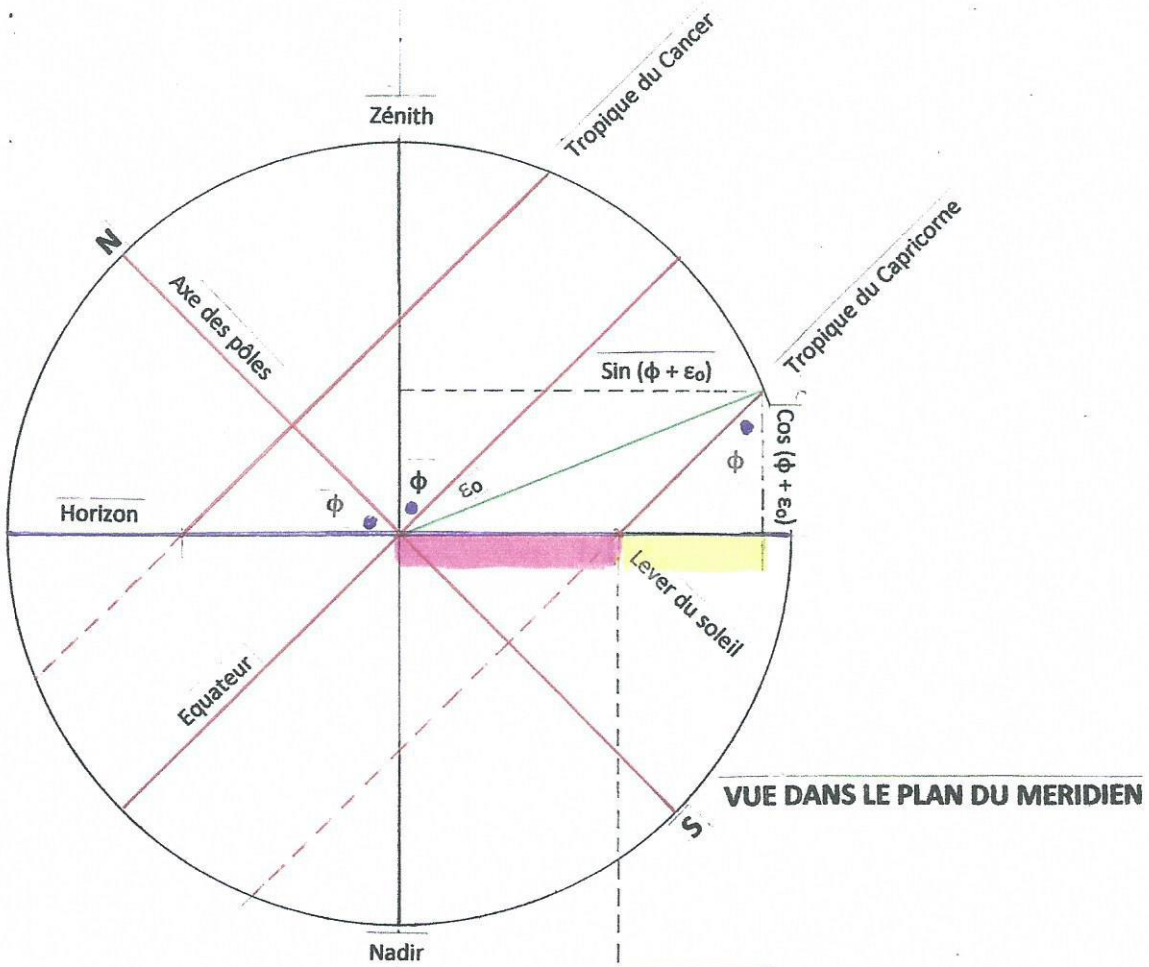
$$\varepsilon_o = 23°26'27''.407$$
$$\varepsilon = 23°26'36''.850$$

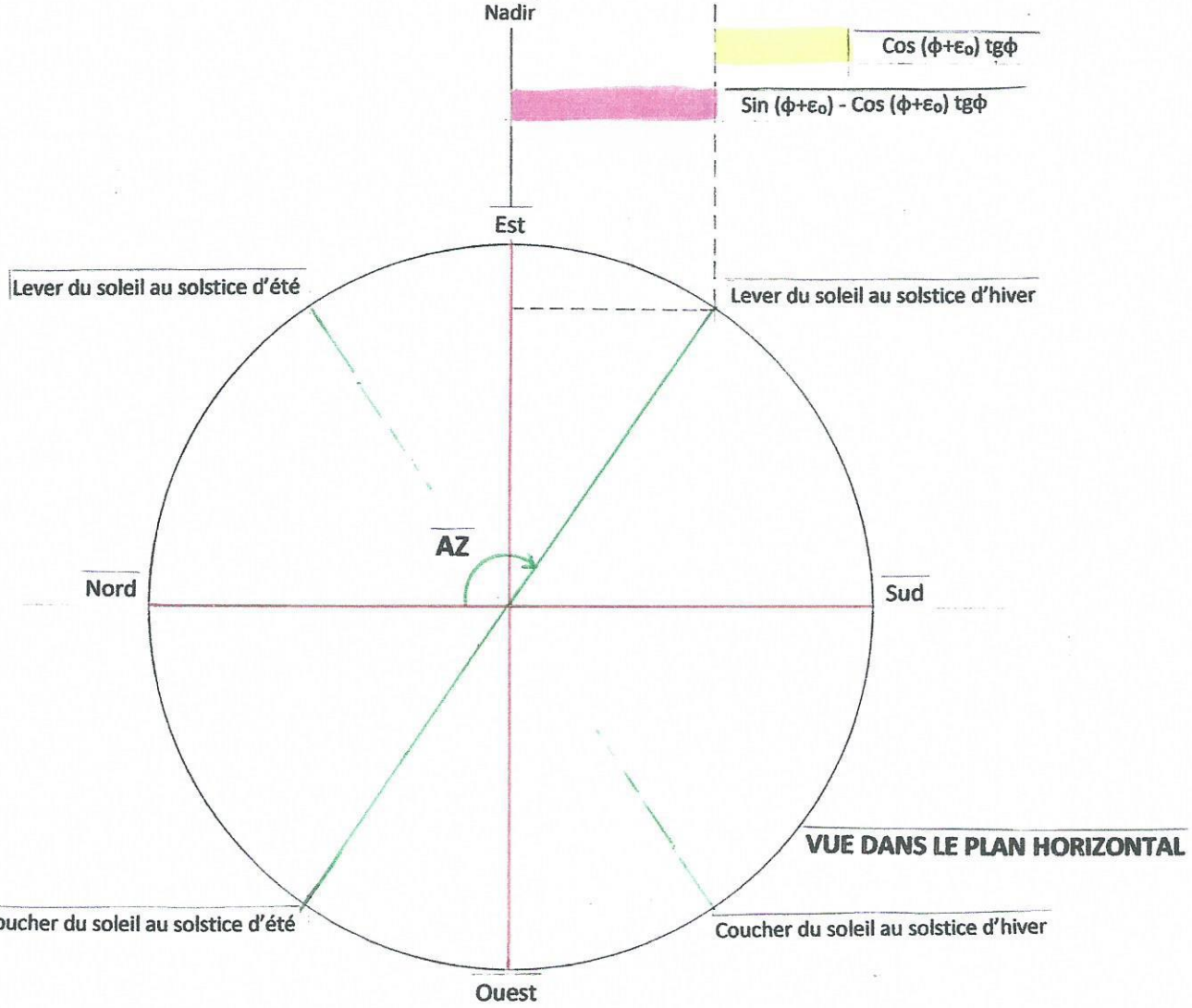
References

1. *Astronomical Almanac* for the year 1984 (Washington, D.C.; 1983), page S26.

2. *Ibid.*, page S23.

3. J. Laskar, *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 157, page 68 (1986).


Zénith
Tropique du Cancer
N
Axe des pôles
Tropique du Capricorne
Sin (ϕ + ε₀)
Cos (ϕ + ε₀)
ϕ
ϕ
ϕ
ε₀
Horizon
Lever du soleil
Equateur
S
VUE DANS LE PLAN DU MERIDIEN
Nadir


Cos (ϕ+ε₀) tgϕ
Sin (ϕ+ε₀) - Cos (ϕ+ε₀) tgϕ
Est
Lever du soleil au solstice d'été
Lever du soleil au solstice d'hiver
AZ
Nord
Sud
VUE DANS LE PLAN HORIZONTAL
Coucher du soleil au solstice d'été
Coucher du soleil au solstice d'hiver
Ouest

CALCUL de l' AZIMUT GEODESIQUE DU SOLEIL
à son LEVER au SOLSTICE D' HIVER

EN FONCTION DES VARIATIONS DE L'OBLIQUITE DE L'ECLIPTIQUE

Depuis - 8000 ans jusqu'à + 2000 ans

Ce calcul s'applique sur le centre géométrique du soleil.

ϕ = Latitude

DMS = Degrés,minutes,secondes.

λ = Longitude

ε_0 = Obliquité de l'écliptique

AZ = Azimut géodésique : Angle compté depuis le nord géographique dans le sens des aiguilles d'une montre.

Point origine des GUYONNIERES

DMS
ϕ = 46°58'55''76
λ = 0°39'49''20

Année	ε_0 DMS	AZ DMS
2000	23°26'	125°39'
1000	23°34'	125°53'
0	23°42'	126°06'
-1000	23°49'	126°18'
-2000	23°55'	126°28'
-3000	24°01'	126°38'
-4000	24°06'	126°46'
-5000	24°10'	126°53'
-6000	24°12'	126°56'
-7000	24°14'	126°59'
-8000	24°14'	126°59'

Chapter 15

Atmospheric Refraction

Atmospheric refraction is the bending of light while passing through the Earth's atmosphere. As a ray of light penetrates the atmosphere, it encounters layers of air of increasing density, resulting in the continuous bending of the light. As a result, a star (or the Sun's limb, etc.) will appear higher in the sky than its true position. The atmospheric refraction, which is zero in the zenith, increases towards the horizon. At an altitude of 45°, the refraction is about one arcminute; at the horizon, it amounts to about 35'. Thus the Sun and the Moon are actually below the horizon when they appear to be rising. Moreover, the rapidly changing refraction at low altitudes gives the rising or setting Sun its familiar oval appearance.

Allowance must be made for atmospheric refraction when determining positions, and one distinguishes two cases :

- the apparent altitude h_o of a celestial body has been *measured*, and one should find the refraction R to be *subtracted* from h_o to obtain the true altitude h;
- the true 'airless' altitude h has already been *calculated* from celestial coordinates and formulae of spherical trigonometry, and we want to calculate the refraction R to be *added* to h in order to predict the apparent altitude h_o.

Almost all refraction formulae we have come across consider the first case only: they are designed for deriving true altitudes from observed ones. But here we will consider both cases.

For many purposes, 'average' meteorological conditions may be assumed. However, anomalous refraction near the horizon, exemplified by distortions of the setting Sun, should remind us that rigorous exactness at very low altitudes cannot be reached.

When the altitude of the celestial body is larger than 15°, one of the following two formulae may be used, as the case may be :

$$R = 58''.294 \tan(90° - h_o) - 0''.0668 \tan^3(90° - h_o) \qquad (15.1)$$

$$R = 58''.276 \tan(90° - h) - 0''.0824 \tan^3(90° - h) \qquad (15.2)$$

The first formula is given by Smart [1], while the second one has been derived by us from the first formula. For altitudes below 15°, these expressions will give inaccurate, or even completely meaningless results.

It appears that, at high altitudes, the refraction is proportional to the tangent of the zenithal distance.

A surprisingly simple formula for refraction, with good accuracy at all altitudes from 90° to 0°, was given by G.G. Bennett of the University of New South Wales [2]. If the refraction R is expressed in *minutes* of arc, Bennett's formula is

$$R = \frac{1}{\tan\left(h_o + \dfrac{7.31}{h_o + 4.4}\right)} \tag{15.3}$$

where h_o is the *apparent* altitude in degrees. According to Bennett, this formula is accurate to 0.07 arcminute for all values of h_o. The largest error, 0.07 arcminute, occurs at 12° altitude.

It should be noted that for the zenith ($h_o = 90°$) formula (15.3) yields $R = -0''.08$ instead of exactly zero. This can be rectified by adding +0.001 3515 to the second member of the formula.

Bennett also showed how his formula can be refined. Calculate R by means of formula (15.3); then a correction to R, expressed in minutes of arc, is

$$-0.06 \sin(14.7R + 13)$$

where the expression between parentheses is expressed in degrees. Calculated in this way, the maximum error is stated to be only 0.015 arcminute, or 0".9, for the whole altitude range 90°–0°. [At the zenith, one finds $R = -0''.89$, so expression (15.3), without further correction, is better in this case.]

For the inverse problem, that of calculating the effect of refraction when the *true* altitude h is known, Sæmundsson, of the University of Iceland, proposes the following formula [3] :

$$R = \frac{1.02}{\tan\left(h + \dfrac{10.3}{h + 5.11}\right)} \tag{15.4}$$

This formula is consistent with Bennett's (15.3) to within 4". Again, it does not give exactly $R = 0$ for $h = 90°$. This can be remedied by adding +0.001 9279 to the second member.

Formulae (15.1) to (15.4) assume that the observation is made at sea level, when the atmospheric pressure is 1010 millibars, and when the temperature is 10° Celsius. The effect of refraction increases when the pressure *increases* or when the temperature *decreases*.

If the pressure at the Earth's surface is P millibars, and the air temperature is T degrees Celsius, then the values of R given by the formulae (15.1) to (15.4) should be multiplied by

$$\frac{P}{1010} \times \frac{283}{273 + T}$$

However, this is only approximately correct. The problem is more complicated because the refraction depends on the wave-length of the light too! The expressions given in this Chapter are for yellow light, where the human eye has maximum sensitivity.

Example 15.a — Calculate the apparent flattening of the solar disk near the horizon, when the lower limb is at an apparent altitude of exactly 0°30'. Assume a true solar diameter of exactly 0°32', and mean conditions of air pressure and temperature.

For $h_o = 0°.5$, formula (15.3) gives $R = 28'.754$, so the true altitude of the Sun's lower limb is

$$0°30' - 0°28'.754 = 0°01'.246$$

and hence the true altitude of the upper limb is

$$h = 0°01'.246 + 0°32' = 0°33'.246 = 0°.5541$$

For this value of h, formula (15.4) yields $R = 24'.618$, so the apparent altitude of the Sun's upper limb is $33'.246 + 24'.618 = 57'.864$, and the apparent vertical diameter of the solar disk is $57'.864 - 30' = 27'.864$.

Consequently, the ratio of the apparent vertical diameter to the horizontal diameter of the solar disk, under the conditions of this Problem, is $27.864/32 = 0.871$.

It should be noted that, while of course the azimuth is unchanged by refraction, the *horizontal* diameter of the solar disk is very slightly contracted by reason of the refraction. This is due to the fact that the extremities of this diameter are raised along vertical circles that meet at the zenith. Danjon [4] writes that the apparent contraction of the horizontal diameter of the Sun is practically constant and independent of the altitude, and that this contraction is approximately 0".6.

For heights of a few degrees the results of the formulae should be judged with care. Near the horizon unpredictable disturbances of the atmosphere become rather important. According to investigations by Schaefer and Liller [5], the refraction at the horizon fluctuates by 0°.3 around a mean value normally, and in some cases apparently much more. Remembering our Chapter about accuracy, it should be mentioned here that giving rising or setting times of a body more accurately than to the nearest minute makes no sense.

CORRECTION DE REFRACTION préparation du calcul

Le diamètre du soleil est de 32'

L'aplatissement donné par **Jean Méeus** : 0.871

Le diamètre vertical est donc : 32' X 0.871 = 27'872

La formule (15,3) lorsque h_o = 0° à l'horizon devient R = 1 / Tan (7.31 / 4.4) = 34'47

R = 34'47

__Prise en compte de la température : 0° au lever du jour le 21 décembre.

Ajouter 3% à la réfraction.

__Prise en compte de la pression : altitude 180 m.

Retrancher 1% à la réfraction.

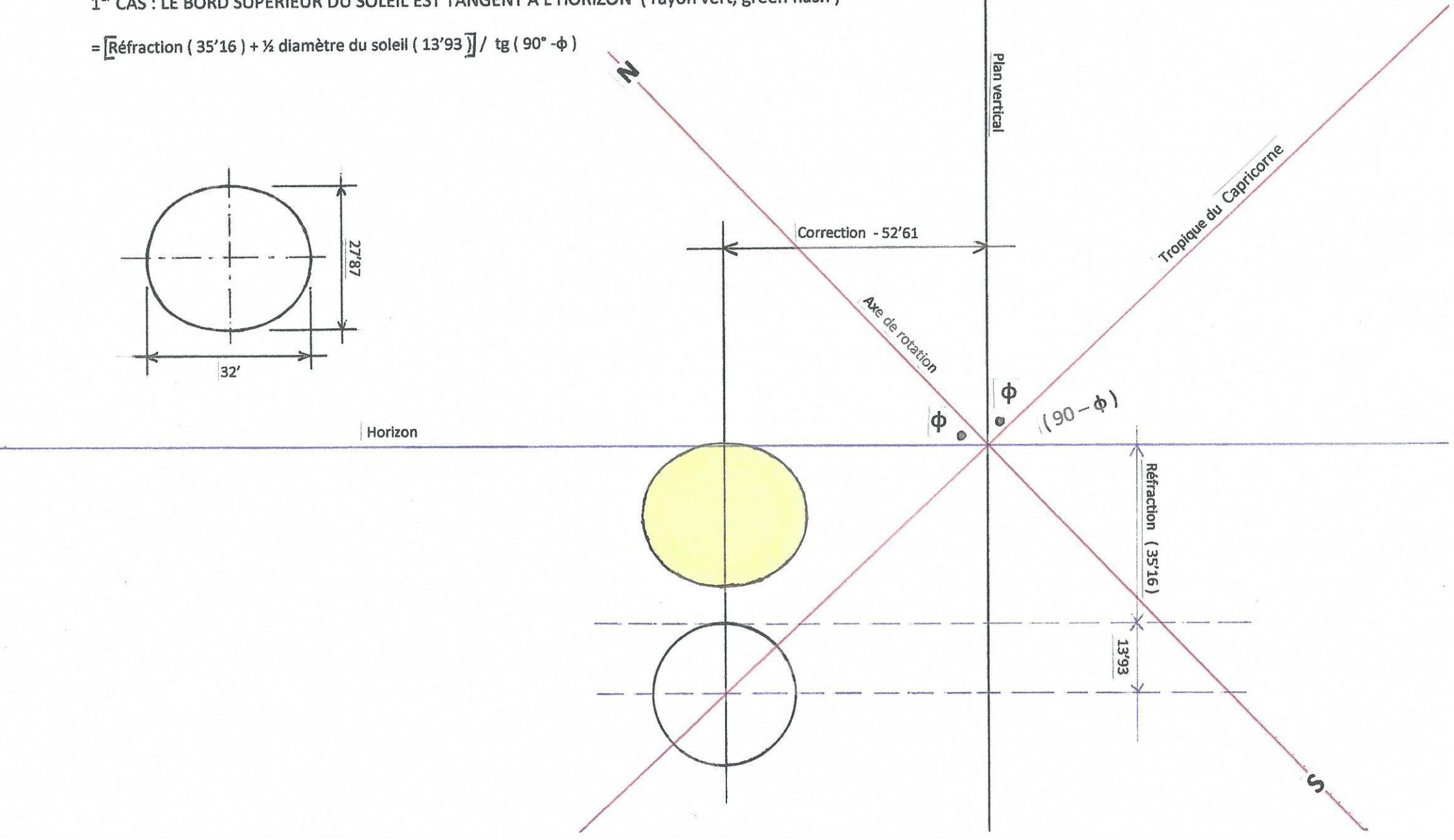
Soit : 34'47 X 102 / 100 = 35'16

CORRECTION DE L'AZIMUT EN FONCTION DE LA REFRACTION ATMOSPHERIQUE

ECHELLE DU GRAPHIQUE : 1mm = 1'

1er CAS : LE BORD SUPERIEUR DU SOLEIL EST TANGENT A L'HORIZON (rayon vert, green flash)

= [Réfraction (35'16) + ½ diamètre du soleil (13'93)] / tg (90° -ϕ)



CORRECTION DE L'AZIMUT GEODESIQUE en FONCTION DE LA REFRACTION ATMOSPHERIQUE

1er CAS: LE BORD SUPERIEUR DU SOLEIL EST TANGENT A L'HORIZON (rayon vert, green flash)

AZ = Azimut géodésique du soleil (Angle par rapport au Nord dans le sens des aiguilles d'une montre)

DMS = Degrés,minutes,secondes.

Latitude **GUYONNIERES :** ϕ = 46°58'55"76

CORRECTION = **-52'61**

Année	AZ DMS	Correction	Azimut définitif
2000	125°39'	- 53'	124°46'
1000	125°53'	- 53'	125°00'
0	126°06'	- 53'	125°13'
-1000	126°18'	- 53'	125°25'
-2000	126°28'	- 53'	125°35'
-3000	126°38'	- 53'	125°45'
-4000	126°46'	- 53'	125°53'
-5000	126°53'	- 53'	126°00'
-6000	126°56'	- 53'	126°03'
-7000	126°59'	- 53'	126°06'
-8000	126°59'	- 53'	126°06'

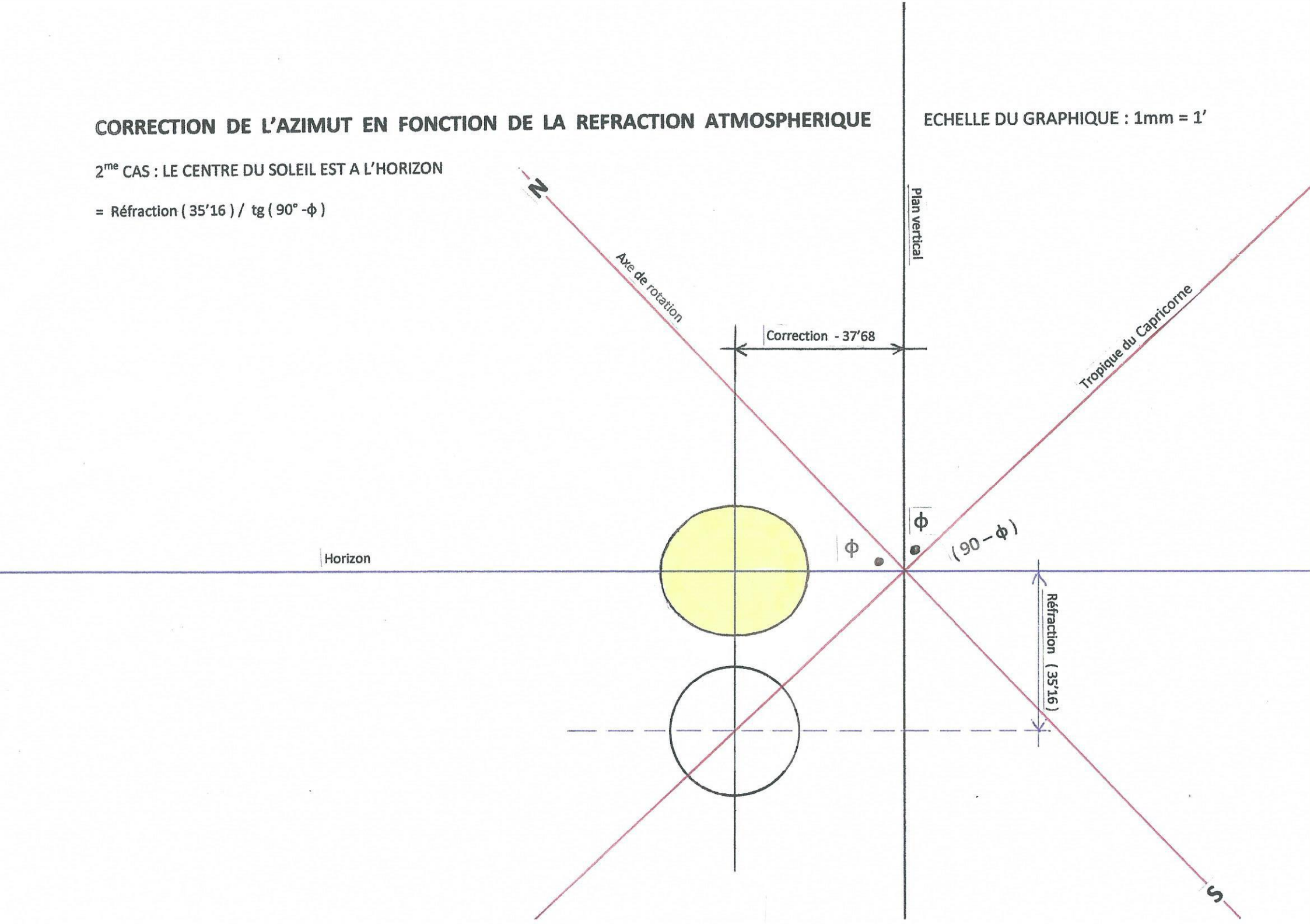
		Année
125°20'	Le Petit Douet	-580
125°27'	La Morinière	-1200

CORRECTION DE L'AZIMUT EN FONCTION DE LA REFRACTION ATMOSPHERIQUE

ECHELLE DU GRAPHIQUE : 1mm = 1'

2me CAS : LE CENTRE DU SOLEIL EST A L'HORIZON

= Réfraction (35'16) / tg (90° -ϕ)



CORRECTION DE L'AZIMUT GEODESIQUE en FONCTION DE LA REFRACTION ATMOSPHERIQUE

2me CAS: LE CENTRE DU SOLEIL EST A L'HORIZON

AZ = Azimut géodésique du soleil (Angle par rapport au Nord dans le sens des aiguilles d'une montre)

DMS = Degrés,minutes,secondes.

Latitude **GUYONNIERES** : ϕ = 46°58'55"76

CORRECTION = **-37'68**

Année	AZ DMS	Correction	Azimut définitif
2000	125°39'	- 38'	125°01'
1000	125°53'	- 38'	125°15'
0	126°06'	- 38'	125°28'
-1000	126°18'	- 38'	125°40'
-2000	126°28'	- 38'	125°50'
-3000	126°38'	- 38'	126°00'
-4000	126°46'	- 38'	126°08'
-5000	126°53'	- 38'	126°15'
-6000	126°56'	- 38'	126°18'
-7000	126°59'	- 38'	126°21'
-8000	126°59'	- 38'	126°21'

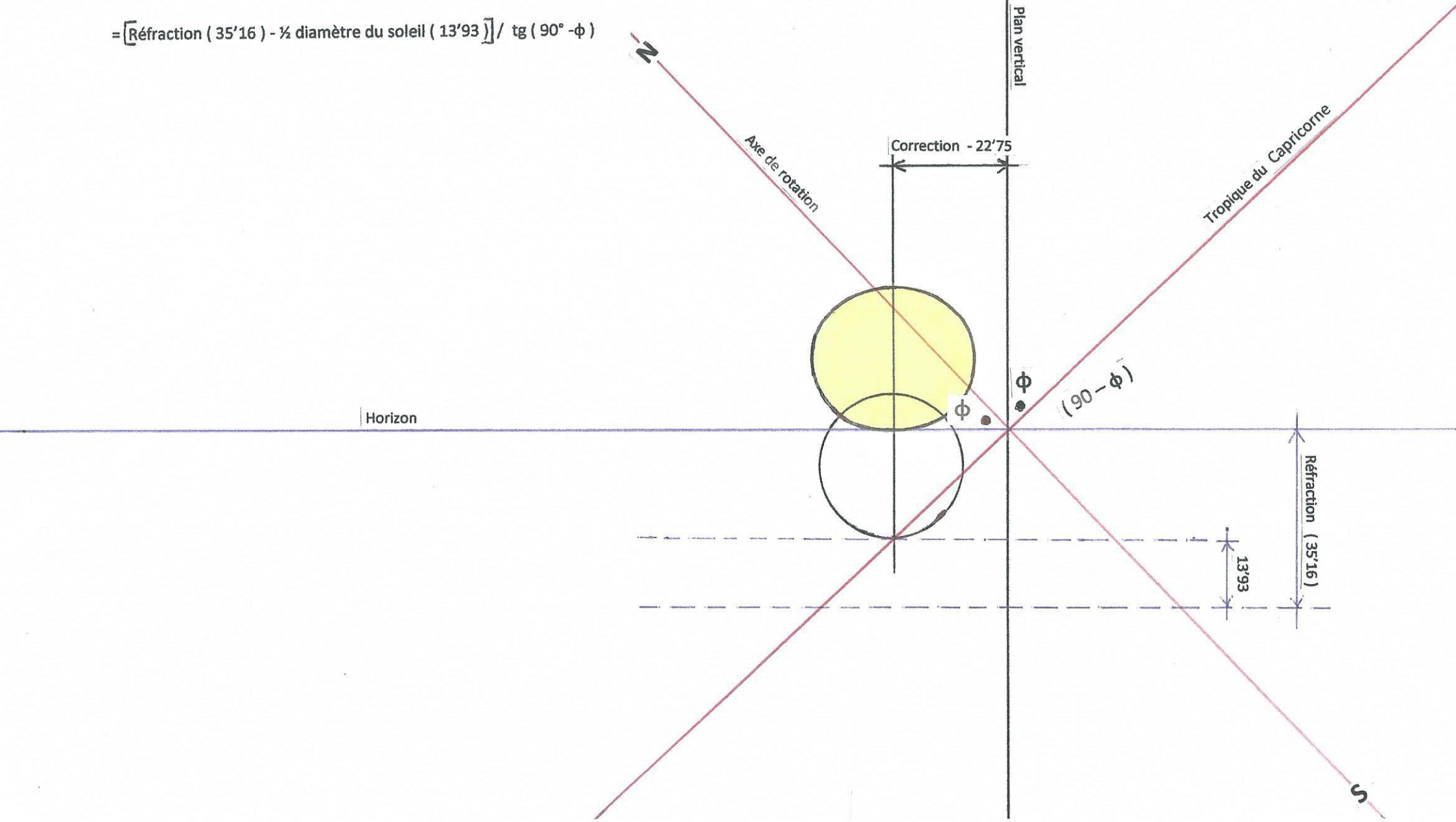
		Année
125°20'	Le Petit Douet	610
125°29'	La Morinière	-80
126°10'	Durand	-4280

CORRECTION DE L'AZIMUT EN FONCTION DE LA REFRACTION ATMOSPHERIQUE

ECHELLE DU GRAPHIQUE : 1mm = 1'

3me CAS : LE BORD INFERIEUR DU SOLEIL EST TANGENT A L'HORIZON

= [Réfraction (35'16) - ½ diamètre du soleil (13'93)] / tg (90° -ϕ)



CORRECTION DE L'AZIMUT GEODESIQUE en FONCTION DE LA REFRACTION ATMOSPHERIQUE

3me CAS: LE BORD INFERIEUR DU SOLEIL EST TANGENT A L'HORIZON

AZ = Azimut géodésique du soleil (Angle par rapport au Nord dans le sens des aiguilles d'une montre)

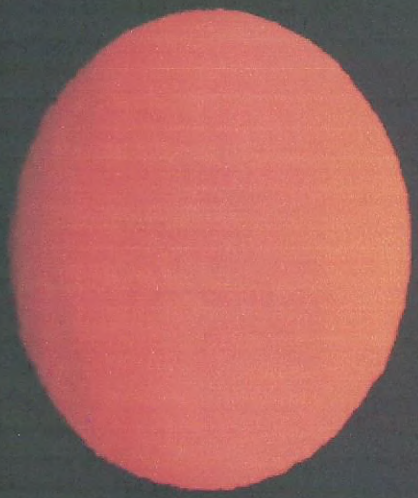
DMS = Degrés,minutes,secondes.

Latitude **GUYONNIERES :** ϕ = 46°58'55"76

CORRECTION = **-22'75**

Année	AZ DMS	Correction	Azimut définitif
2000	125°39'	- 23'	125°16'
1000	125°53'	- 23'	125°30'
0	126°06'	- 23'	125°43'
-1000	126°18'	- 23'	125°55'
-2000	126°28'	- 23'	126°05'
-3000	126°38'	- 23'	126°15'
-4000	126°46'	- 23'	126°23'
-5000	126°53'	- 23'	126°30'
-6000	126°56'	- 23'	126°33'
-7000	126°59'	- 23'	126°36'
-8000	126°59'	- 23'	126°36'

		Année
125°20'	Le Petit Douet	1710
125°28'	La Morinière	1140
126°10'	Durand	-2500



DISCUSSION des DONNEES

1__ La droite entre Les **Guyonnières** et **Durand** est parfaitement marquée sur les photos et représente une direction précise du soleil levant avec une longueur de 1169 mètres sur un terrain faiblement incliné. Cette portion de ligne est très fiable pour remonter à l'âge de sa mise en place. Ensuite il y a perte de profil et perte de l'horizon jusqu'au point de **La Morinière** à 4858 mètres, puis on retrouve la visibilité des **Guyonnières** et la ligne d'horizon sur une petite distance et nouvelle perte de profil et d'horizon vers **Le Petit Douet**.

2__ Avec des visées à l'œil nu et les problèmes de communication par signes que cela doit poser, en pratique on n'augmente pas la précision en allant au-delà du kilomètre. Donc il était inutile de prolonger cette ligne vers **Le Petit Douet** si ce n'est pour rattacher le site des **Loges** par une longueur de 10000 coudées.

3__ Sur les 3 cas considérés, c'est bien dans le 3me cas, lorsque le bord inférieur du soleil est tangent à l'horizon que l'azimut sur **Durand** entre dans le tableau (- 3000 ans et – 2000 ans).

Précision des mesures.

Bien qu'ayant nettement amélioré le pointé des coordonnées sur Google Earth et que les latitudes et longitudes annoncées sont la moyenne de 5 mesures différentes sur chaque point, l'erreur à craindre sur la direction de la droite est de l'ordre de +/- 10'.

Variations de température et d'aplatissement du soleil.

Vers – 2500 ans on peut supposer que la température était en moyenne plus froide qu'aujourd'hui, soit : -12° au lever du solstice d'hiver. L'augmentation de la réfraction est alors de 7% soit : 34'47 X 107 / 100 = 36'88.

Aplatissement du soleil sur la photo ci-jointe : 52mm / 62mm = 0.8387, soit un diamètre vertical de 26'839. Correction de réfraction : Réfraction (36'88) – ½ diamètre vertical du soleil (13'42) / tg (90° - ϕ) = -25'14

- 2000 126°28' - 25' = 126°03'

- 3000 126°38' - 25' = 126°13' **126°10' Durand - 2700 ans**

Le calcul ci-dessus ne tient pas compte de la pression atmosphérique. Beau temps = haute pression, ce qui ramène la valeur sur **Durand** vers -2500 ans.

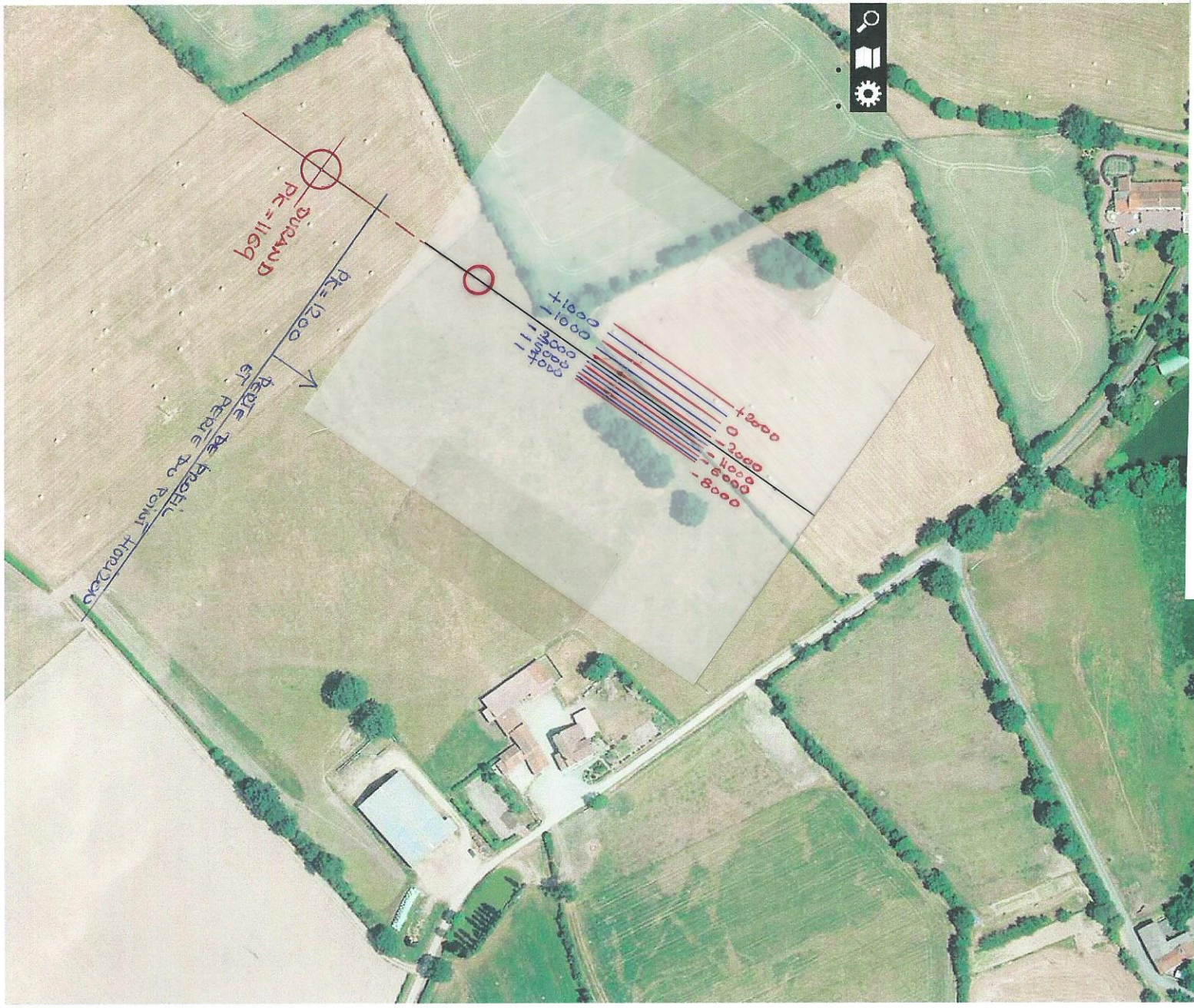
On peut dire que les 1200 premiers mètres de cette ligne datent de **-2500 ans** +/- 500 ans.

Questions.

1ère__ Combien de milliers d'années d'utilisation ?

2me__ Maintenance : nombre de personnes à l'entretien avec les outils de l'époque ?

FACTEUR D'ECHELLE | 2.66215 |



ECARTS EN DIRECTION AU PK=1200 PAR RAPPORT A LA LIGNE -2500

2000 ans	-0° 54'	18.85 m.	7.1mm.
1000 ans	-0°40'	13.96 m.	5.2 mm.
0	-0°27'	9.43 m.	3.5 mm.
-1000 ans	-0°15'	5.23 m.	2.0 mm.
-2000 ans	-0°05'	1.75 m.	0.7 mm.
-3000 ans	+0°05'	1.75 m.	0.7 mm.
-4000 ans	+0°13'	4.54 m.	1.7 mm.
-5000 ans	+0°20'	6.98 m.	2.6 mm.
-6000 ans	+0°23'	8.09 m.	3.0 mm.
-7000 ans	+ 0°26'	9.07 m.	3.4 mm.
-8000 ans	+ 0°26'	9.07 m.	3.4 mm.
Φ soleil	0°32'	11.17 m.	4.2 mm.