

## Chapitre 13 : La navigation d'Ozanam

Lorsque naît, en 1693, John Harrison dont le chronomètre de marine révolutionnera l'art de la navigation en permettant une estimation correcte des longitudes en haute mer, plus près de nous Jacques Ozanam relit les dernières épreuves de son célèbre ouvrage « Récréations mathématiques et physiques » qui sera publié en 1694, avant de reparaître en 1778, revu et augmenté par Montucla. Le rapprochement de ces dates et de ces noms nous a été suggéré par un problème de navigation posé par Ozanam : le problème XI de la huitième partie "Navigation". Ozanam demande comment un vaisseau, parvenu au pôle Nord, peut revenir à Brest en suivant le plus exactement possible le méridien de Brest, sans compas. Il envisage donc un parcours orthodromique idéal, tout en sachant qu'il sera brisé, sans cesse, en une suite de loxodromies. Comme instrument de navigation il dispose de plusieurs excellentes montres réglées au départ sur le temps de Brest. Et nous lui accorderons qu'il saura parfaitement passer du temps moyen de ses montres au temps vrai, en corrigeant leurs indications en respect de la valeur de l'équation du temps.

Ozanam se propose d'appareiller en plein été, lorsque ses montres marqueront midi, ce qui signifie qu'il sera midi à Brest. Il ordonne au timonier de tenir, pendant une heure, un cap tel qu'il ait toujours le Soleil dans l'axe du vaisseau. Son cap départ est donc plein sud ou  $180^\circ$ . Il s'engage sur le méridien qui relie le pôle à Brest ; il veut s'y tenir. Mais il sait bien qu'en visant toujours le Soleil qui s'enfuit vers l'occident il va, lui aussi s'écarter du méridien de Brest en gouvernant trop à l'ouest. Alors, au bout d'une heure Ozanam donne un nouveau cap tel que le timonier relèvera, pendant une nouvelle heure, le Soleil dans le 195, et ainsi de suite, d'heure en heure, chaque saut de l'heure déclenchant un coup de barre à gauche qui augmentera d'encore  $15^\circ$  l'angle entre le Soleil relevé et l'axe du bateau.

Il est évident que, lorsque le Soleil aura dépassé la poupe du bateau, passant de tribord à bâbord (\*!\*), les coups de barre s'effectueront encore vers la gauche. L'après-midi, l'angle entre l'azimut du Soleil et le cap du bateau ne cesse d'augmenter passant de  $0^\circ$  à  $180^\circ$ . Le matin, il ne cesse de se réduire, passant de  $180^\circ$  à  $0^\circ$ . L'après-midi, appuyer à gauche écarte du Soleil. Le matin, appuyer à gauche en rapproche. La manœuvre est toute simple : s'éloigner du Soleil lorsque celui-ci s'éloigne du Sud et s'en rapprocher lorsqu'il se rapproche du

Sud. Pour le barreur le Soleil tourne en sens horloge ; il doit donc annuler cette progression en remettant sa barre à gauche toutes les heures.

Ainsi, à toutes les heures rondes et à chacune d'entre elles Ozanam feint de croire qu'il gouverne au 195 et, revenant de 15° sur sa gauche, il feint de croire qu'il est revenu dans le 180°.

Il peut, à première vue, paraître étonnant qu'un savant tel qu'Ozanam se satisfasse, autrement que par jeu intellectuel (mais son livre s'appelle « Récréations ... », de cette navigation dont le fondement astronomique serait que l'angle horaire du Soleil et son azimut varient ensemble, d'une même valeur, dans un même temps, et cela pendant une nombreuse suite de jours vécus à différentes latitudes. A moins qu'il ne considère qu'en 24 heures les divergences d'une journée s'annulent puisque, tous les jours, à midi, l'angle horaire du Soleil vaut zéro, son azimut vaut 180° (ainsi comptent les marins), tout comme le cap du bateau qui vient de s'aligner sur le Soleil. Mais, si ce cap est bien effectivement celui du sud vrai local, (et cela n'est pas discutable), est-il encore sur le méridien qui va du pôle à Brest ?

Aussi nous proposons à nos collègues épris de beaux calculs, avec Excel par exemple, d'essayer de voir ce qui se serait réellement passé si quelque vaisseau de la Royale avait gouverné selon cette méthode. Mais il faut d'abord admettre certaines conventions pour pouvoir prendre en considération des paramètres qu'Ozanam n'indique pas. Bien entendu les amateurs peuvent à loisir les modifier (date d'appareillage et vitesse surtout) :

1°) admettons que la nuit il sait continuer à manœuvrer convenablement, car à mesure qu'il va descendre en latitude, il va arriver trop loin du pôle pour qu'il fasse encore jour continu.

2°) admettons qu'il file 10 nœuds ; donc en 1 heure il parcourt 18,5185 kilomètres. On rappelle qu'un nœud mesure une vitesse telle qu'on parcourt 1 mille nautique en 1 heure.

3°) il s'ensuit que, pour descendre de 1° en latitude, il lui faut :

$$1 \text{ heure} * 111,111 / 18,5185 = 6 \text{ heures}$$

Par suite, pour aller du pôle à Brest (latitude 48°N) il devra naviguer pendant :  $42° * 6 = 252$  heures, soit 10 jours et demi s'il n'y avait pas l'alternance du jour et de la nuit. C'est évidemment très rapide pour l'époque, mais, encore une fois, on peut admettre d'autres conventions. La nôtre a le mérite de ne pas engendrer des colonnes de chiffres aussi hautes que la mâture d'un vaisseau de ligne.

A midi, le 21 juin, Ozanam est à la latitude 90° ; il s'aligne sur le Soleil puis navigue pendant 1 heure toujours en direction du Soleil.

A 13 heures, l'angle horaire du Soleil est 15° ; sa déclinaison est toujours 23°44' ; la latitude est devenue 90° moins 1/6ème de degré soit : 89°50'. Ozanam se dit qu'il suit le cap 195 et il ordonne de revenir de 15° sur la gauche. Commet-il une erreur ? Il semble bien que oui car l'azimut instantané du Soleil ne vaut pas, à cet instant-là, 195° mais la valeur suivante :

$$\tan(Az) = \sin(AH) / \sin(\phi) * \cos(AH) - \tan(dec) * \cos(\phi)$$

soit :  $\tan(Az) = 0.258819 / ((0.9999958 * 0.9659258) - (0.4335678 * 0.0029089))$   
= 0.2683006

dont l'arctangente = 15°018784 ...

Et, donc, lorsque Ozanam corrige son cap il ne passe pas de 195 à 180 mais de 195,018784 à 180,018784 : il commence à laisser le méridien de Brest à bâbord. Cette divergence évoluera tout l'après-midi, à chaque coup de barre à gauche, puis s'annulera à minuit, puis de nouveau s'accroîtra dans l'autre sens, à chaque coup de barre du matin (barre toujours à gauche), jusqu'à ce que, à midi le bateau revienne dans le 180. Cette différence mesure l'écart, à l'heure ronde, entre l'azimut du Soleil et sa valeur théorique s'il variait de 15° chaque fois que l'angle horaire aurait, lui aussi, varié de 15°. Si Ozanam ne changeait pas de latitude et si la déclinaison du Soleil ne variait pas, sa navigation serait irréprochable puisque les divergences accumulées de midi à minuit seraient exactement compensées par les divergences du lendemain, de minuit à midi, chaque changement de cap de l'après-midi du jour J se répétant symétriquement le matin du jour J+1. Mais si sa latitude ne variait pas il resterait au pôle ! Passons sur le fait que, comme Ozanam n'est pas resté strictement sur son méridien de départ, il est un peu plus haut en latitude que les 89°50' théoriques de cet exemple, pour la première heure de navigation. Il en sera toujours ainsi.

Mais, voilà, Ozanam descend en latitude et la déclinaison du Soleil diminue, bien que très faiblement puisque le voyage ne dure que 10 jours et commence au solstice d'été ; néanmoins, il s'écarte inexorablement vers l'est. Cet écart est-il négligeable ou important lorsqu'il arrive à la latitude de Brest ? Les tables qui suivent fournissent les éléments de réponse.

-----

TABLES POUR SUIVRE LA NAVIGATION D'OZANAM, DU POLE A BREST LE LONG DU MERIDIEN QUI RELIE CES DEUX LIEUX, SELON LE PROBLEME XI DES « RECREATIONS ... »

CE PROGRAMME PRESENTE LES AZIMUTS DU SOLEIL, A L'HEURE RONDE, DU 21 JUIN AU 1er JUILLET 2005, AVEC DES PARCOURS EN LATITUDE S'ECHELONNANT DE 90° A 48°. LA DESCENTE EN LATITUDE VAUT 10' PAR HEURE DE NAVIGATION (1° en 6 heures et 4° par jour)

LA DECLINAISON DU SOLEIL EST CELLE DE 0 HEURE U.T. COMME LA BOUCLE VA DE MIDI A MIDI ON LA CONSERVE PENDANT TOUTE LA BOUCLE PAR FACILITE. VOICI LES TABLES JOURNALIERES DE CETTE NAVIGATION, TELLES QU'OZANAM AURAIT PU LES CONSIGNER SUR SON JOURNAL DE BORD :

**21 JUIN**

DECLINAISON CHOISIE, VALABLE DE MIDI A MIDI LE LENDEMAIN:  
23.44028

HEURE	LATITUDE	AZIMUT	CORRECTION	CAP CORRIGE
12	90.00	180.0000	0.00	180.0000
13	89.50	195.0188	15.00	180.0188
14	89.40	210.0729	30.00	180.0729
15	89.30	225.1548	45.00	180.1548
16	89.20	240.2527	60.00	180.2526
17	89.10	255.3511	75.00	180.3511
18	89.00	270.4335	90.00	180.4335
19	88.50	285.4845	105.00	180.4845
20	88.40	300.4914	120.00	180.4914
21	88.30	315.4465	135.00	180.4465
22	88.20	330.3471	150.00	180.3471
23	88.10	345.1958	165.00	180.1958
24	88.00	360.0000	180.00	180.0000
1	87.50	14.7706	165.00	179.7707
2	87.40	19.5219	150.00	179.5219
3	87.30	44.2705	135.00	179.2705
4	87.20	59.0355	120.00	179.0355
5	87.10	73.8379	105.00	178.8379
6	87.00	88.7001	90.00	178.7001
7	86.50	103.6443	75.00	178.6443
8	86.40	118.6903	60.00	178.6903
9	86.30	133.8518	45.00	178.8518
10	86.20	149.1328	30.00	179.1328
11	86.10	164.5238	15.00	179.5238
12	86.00			180

**22 JUIN**

DECLINAISON CHOISIE, VALABLE DE MIDI A MIDI LE LENDEMAIN:  
23.43889

HEURE	LATITUDE	AZIMUT	CORRECTION	CAP CORRIGE
12	86.00	180.0000	0.00	180.0000
13	85.50	195.5222	15.00	180.5222

14	85.40	211.0410	30.00	181.0410
15	85.30	226.5046	45.00	181.5046
16	85.20	241.8663	60.00	181.8663
17	85.10	257.0920	75.00	182.0920
18	85.00	272.1640	90.00	182.1639
19	84.50	287.0812	105.00	182.0812
20	84.40	301.8561	120.00	181.8561
21	84.30	316.5104	135.00	181.5104
22	84.20	331.0693	150.00	181.0693
23	84.10	345.5582	165.00	180.5582
24	84.00	360.0000	180.00	180.0000
1	83.50	14.4154	165.00	179.4154
2	83.40	28.8248	150.00	178.8248
3	83.30	43.2514	135.00	178.2514
4	83.20	57.7250	120.00	177.7250
5	83.10	72.2840	105.00	177.2840
6	83.00	86.9756	90.00	176.9756
7	82.50	101.8521	75.00	176.8521
8	82.40	116.9637	60.00	176.9637
9	82.30	132.3465	45.00	177.3465
10	82.20	148.0089	30.00	178.0089
11	82.10	163.9191	15.00	178.9191
12	82.00			180

### 23 JUIN

DECLINAISON CHOISIE, VALABLE DE MIDI A MIDI LE LENDEMAIN:  
23.43056

HEURE	LATITUDE	AZIMUT	CORRECTION	CAP CORRIGE
=====				
12	82.00	180.0000	0.00	180.0000
13	81.50	196.1364	5.00	181.1364
14	81.40	212.1972	30.00	182.1972
15	81.30	228.0626	45.00	183.0626
16	81.20	243.6484	60.00	183.6484
17	81.10	258.9176	75.00	183.9175
18	81.00	273.8784	90.00	183.8784
19	80.50	288.5725	105.00	183.5725
20	80.40	303.0586	120.00	183.0586
21	80.30	317.3986	135.00	182.3986
22	80.20	331.6458	150.00	181.6458
23	80.10	345.8386	165.00	180.8386
24	80.00	360.0000	180.00	180.0000

1	79.50	14.1415	165.00	179.1415
2	79.40	28.2713	150.00	178.2713
3	79.30	42.4051	135.00	177.4051
4	79.20	56.5753	120.00	176.5753
5	79.10	70.8376	105.00	175.8376
6	79.00	85.2729	90.00	175.2729
7	78.50	99.9811	75.00	174.9811
8	78.40	115.0679	60.00	175.0679
9	78.30	130.6209	45.00	175.6209
10	78.20	146.6765	30.00	176.6765
11	78.10	163.1867	15.00	178.1867
12	78.00			180

## 24 JUIN

DECLINAISON CHOISIE, VALABLE DE MIDI A MIDI LE LENDEMAIN:  
23.41528

HEURE	LATITUDE	AZIMUT	CORRECTION	CAP CORRIGE
=====				
12	78.00	180.0000	0.00	180.0000
13	77.50	196.8797	15.00	181.8797
14	77.40	213.5657	30.00	183.5657
15	77.30	229.8443	45.00	184.8443
16	77.20	245.5986	60.00	185.5986
17	77.10	260.8162	75.00	185.8162
18	77.00	275.5640	90.00	185.5640
19	76.50	289.9523	105.00	184.9523
20	76.40	304.1022	120.00	184.1022
21	76.30	318.1210	135.00	183.1210
22	76.20	332.0872	150.00	182.0872
23	76.10	346.0437	165.00	181.0437
24	76.00	360.0000	180.00	180.0000
1	75.50	13.9423	165.00	178.9423
2	75.40	27.8514	150.00	177.8514
3	75.30	41.7225	135.00	176.7225
4	75.20	55.5831	120.00	175.5831
5	75.10	69.5044	105.00	174.5044
6	75.00	83.6048	90.00	173.6048
7	74.50	98.0438	75.00	173.0438
8	74.40	113.0046	60.00	173.0046
9	74.30	128.6586	45.00	173.6586
10	74.20	145.1066	30.00	175.1066
11	74.10	162.3028	15.00	177.3028

12

74

180

**25 JUIN**

DECLINAISON CHOISIE, VALABLE DE MIDI A MIDI LE LENDEMAIN:  
23.39306

HEURE	LATITUDE	AZIMUT	CORRECTION	CAP CORRIGE
12	74.00	180.0000	0.00	180.0000
13	73.50	197.7762	15.00	182.7762
14	73.40	215.1763	30.00	185.1763
15	73.30	231.8658	45.00	186.8658
16	73.20	247.7146	60.00	187.7146
17	73.10	262.7749	75.00	187.7749
18	73.00	277.2084	90.00	187.2084
19	72.50	291.2161	105.00	186.2161
20	72.40	304.9902	120.00	184.9902
21	72.30	318.6852	135.00	183.6852
22	72.20	332.4013	150.00	182.4013
23	72.10	346.1782	165.00	181.1782
24	72.00	360.0000	180.00	180.0000
1	71.50	13.8135	165.00	178.8135
2	71.40	27.5576	150.00	177.5576
3	71.30	41.1962	135.00	176.1962
4	71.20	54.7452	120.00	174.7452
5	71.10	68.2886	105.00	173.2886
6	71.00	81.9832	90.00	171.9833
7	70.50	96.0540	75.00	171.0540
8	70.40	110.7778	60.00	170.7778
9	70.30	126.4431	45.00	171.4431
10	70.20	143.2638	30.00	173.2638
11	70.10	161.2363	15.00	176.2363
12	70			180

**26 JUIN**

DECLINAISON CHOISIE, VALABLE DE MIDI A MIDI LE LENDEMAIN:  
23.36417

HEURE	LATITUDE	AZIMUT	CORRECTION	CAP CORRIGE
12	70.00	180.0000	0.00	180.0000
13	69.50	198.8576	15.00	183.8576
14	69.40	217.0654	30.00	187.0654

15	69.30	234.1437	45.00	189.1437
16	69.20	249.9911	60.00	189.9911
17	69.10	264.7794	75.00	189.7794
18	69.00	278.8003	90.00	188.8003
19	68.50	292.3603	105.00	187.3603
20	68.40	305.7260	120.00	185.7260
21	68.30	319.0974	135.00	184.0974
22	68.20	332.5936	150.00	182.5936
23	68.10	346.2449	165.00	181.2449
24	68.00	360.0000	180.00	180.0000
1	67.50	13.7522	165.00	178.7522
2	67.40	27.3849	150.00	177.3849
3	67.30	40.8205	135.00	175.8205
4	67.20	54.0583	120.00	174.0583
5	67.10	67.1931	105.00	172.1931
6	67.00	80.4191	90.00	170.4191
7	66.50	94.0268	75.00	169.0268
8	66.40	108.3949	60.00	168.3949
9	66.30	123.9583	45.00	168.9583
10	66.20	141.1055	30.00	171.1055
11	66.10	159.9454	15.00	174.9454
12	66			180

## 27 JUIN

DECLINAISON CHOISIE, VALABLE DE MIDI A MIDI LE LENDEMAIN:  
23.32833

HEURE	LATITUDE	AZIMUT	CORRECTION	CAP CORRIGE
=====				
12	66.00	180.0000	0.00	180.0000
13	65.50	200.1666	15.00	185.1666
14	65.40	219.2764	30.00	189.2764
15	65.30	236.6933	45.00	191.6933
16	65.20	252.4194	60.00	192.4194
17	65.10	266.8139	75.00	191.8139
18	65.00	280.3291	90.00	190.3291
19	64.50	293.3825	105.00	188.3825
20	64.40	306.3123	120.00	186.3123
21	64.30	319.3618	135.00	184.3618
22	64.20	332.6670	150.00	182.6670
23	64.10	346.2451	165.00	181.2451
24	64.00	360.0000	180.00	180.0000
1	63.50	13.7575	165.00	178.7575

2	63.40	27.3308	150.00	177.3308
3	63.30	40.5916	135.00	175.5917
4	63.20	53.5198	120.00	173.5198
5	63.10	66.2202	105.00	171.2202
6	63.00	78.9225	90.00	168.9225
7	62.50	91.9783	75.00	166.9783
8	62.40	105.8672	60.00	165.8672
9	62.30	121.1906	45.00	166.1906
10	62.20	138.5812	30.00	168.5812
11	62.10	158.3736	15.00	173.3736
12	62			180

## 28 JUIN

DECLINAISON CHOISIE, VALABLE DE MIDI A MIDI LE LENDEMAIN:  
23.28583

HEURE	LATITUDE	AZIMUT	CORRECTION	CAP CORRIGE
12	62.00	180.0000	0.00	180.0000
13	61.50	201.7606	15.00	186.7606
14	61.40	221.8611	30.00	191.8611
15	61.30	239.5275	45.00	194.5275
16	61.20	254.9873	60.00	194.9873
17	61.10	268.8626	75.00	193.8626
18	61.00	281.7857	90.00	191.7857
19	60.50	294.2810	105.00	189.2810
20	60.40	306.7516	120.00	186.7516
21	60.30	319.4811	135.00	184.4811
22	60.20	332.6224	150.00	182.6224
23	60.10	346.1785	165.00	181.1785
24	60.00	360.0000	180.00	180.0000
1	59.50	13.8296	165.00	178.8296
2	59.40	27.3946	150.00	177.3946
3	59.30	40.5075	135.00	175.5075
4	59.20	53.1274	120.00	173.1274
5	59.10	65.3712	105.00	170.3712
6	59.00	77.5019	90.00	167.5019
7	58.50	89.9247	75.00	164.9247
8	58.40	103.2095	60.00	163.2095
9	58.30	118.1301	45.00	163.1301
10	58.20	135.6319	30.00	165.6319
11	58.10	156.4433	15.00	171.4433
12	58			180

**29 JUIN**

DECLINAISON CHOISIE, VALABLE DE MIDI A MIDI LE LENDEMAIN:  
23.23639

HEURE	LATITUDE	AZIMUT	CORRECTION	CAP CORRIGE
12	58.00	180.0000	0.00	180.0000
13	57.50	203.7189	15.00	188.7189
14	57.40	224.8793	30.00	194.8792
15	57.30	242.6545	45.00	197.6545
16	57.20	257.6782	60.00	197.6782
17	57.10	270.9087	75.00	195.9087
18	57.00	283.1617	90.00	193.1617
19	56.50	295.0547	105.00	190.0547
20	56.40	307.0455	120.00	187.0455
21	56.30	319.4558	135.00	184.4558
22	56.20	332.4584	150.00	182.4583
23	56.10	346.0432	165.00	181.0432
24	56.00	360.0000	180.00	180.0000
1	55.50	13.9706	165.00	178.9706
2	55.40	27.5783	150.00	177.5783
3	55.30	40.5678	135.00	175.5678
4	55.20	52.8797	120.00	172.8797
5	55.10	64.6470	105.00	169.6470
6	55.00	76.1653	90.00	166.1653
7	54.50	87.8828	75.00	162.8828
8	54.40	100.4414	60.00	160.4414
9	54.30	114.7740	45.00	159.7740
10	54.20	132.1915	30.00	162.1915
11	54.10	154.0461	15.00	169.0461
12	54			180

**30 JUIN**

DECLINAISON CHOISIE, VALABLE DE MIDI A MIDI LE LENDEMAIN:  
23.18

HEURE	LATITUDE	AZIMUT	CORRECTION	CAP CORRIGE
12	54.00	180.0000	0.00	180.0000
13	53.50	206.1519	15.00	191.1519
14	53.40	228.3973	30.00	198.3973
15	53.30	246.0749	45.00	201.0749

16	53.20	260.4715	60.00	200.4715
17	53.10	272.9360	75.00	197.9360
18	53.00	284.4501	90.00	194.4501
19	52.50	295.7030	105.00	190.7030
20	52.40	307.1952	120.00	187.1952
21	52.30	319.2849	135.00	184.2849
22	52.20	332.1712	150.00	182.1711
23	52.10	345.8356	165.00	180.8356
24	52.00	360.0000	180.00	180.0000
1	51.50	14.1843	165.00	179.1843
2	51.40	27.8858	150.00	177.8858
3	51.30	40.7741	135.00	175.7741
4	51.20	52.7759	120.00	172.7759
5	51.10	64.0481	105.00	169.0481
6	51.00	74.9189	90.00	164.9189
7	50.50	85.8687	75.00	160.8687
8	50.40	97.5860	60.00	157.5860
9	50.30	111.1289	45.00	156.1289
10	50.20	128.1900	30.00	158.1900
11	50.10	151.0283	15.00	166.0283
12	50			180

### 1<sup>er</sup> JUILLET

DECLINAISON CHOISIE, VALABLE DE MIDI A MIDI LE LENDEMAIN:  
23.11694

HEURE	LATITUDE	AZIMUT	CORRECTION	CAP CORRIGE
=====				
12	50.00	180.0000	0.00	180.0000
13	49.50	209.2167	15.00	194.2167
14	49.40	232.4852	30.00	202.4852
15	49.30	249.7798	45.00	204.7798
16	49.20	263.3432	60.00	203.3431
17	49.10	274.9288	75.00	199.9288
18	49.00	285.6456	90.00	195.6455
19	48.50	296.2259	105.00	191.2259
20	48.40	307.2010	120.00	187.2010
21	48.30	318.9659	135.00	183.9659
22	48.20	331.7549	150.00	181.7549
23	48.10	345.5503	165.00	180.5503
24	48.00	360.0000	180.00	180.0000
1	47.50	14.4761	165.00	179.4761
2	47.40	28.3236	150.00	178.3236

3	47.30	41.1294	135.00	176.1294
4	47.20	52.8160	120.00	172.8160
5	47.10	63.5745	105.00	168.5745
6	47.00	73.7679	90.00	163.7679
7	46.50	83.8976	75.00	158.8976
8	46.40	94.6697	60.00	154.6697
9	46.30	107.2135	45.00	152.2135
10	46.20	123.5609	30.00	153.5609
11	46.10	147.1690	15.00	162.1690
12	46			180

## Observations

\*\*\*\*\*

A midi et à minuit (quand le Soleil n'est pas couché) Ozanam revient bien dans le 180. Mais, est-il revenu sur le méridien qui va du pôle à Brest ? On voit qu'il n'en est rien. Les tables ci-dessus montrent qu'Ozanam s'écarte toujours plus vers l'est, que vers l'ouest et ces dérives se cumulent. Bien entendu, nous ne prétendons pas que faire la moyenne de ses caps de midi à minuit et la comparer à celle de ses caps de minuit à midi soit autre chose qu'une estimation plutôt rustique qui ferait sourire n'importe quel navigateur, mais elle pousse à rechercher une explication. Et, comme la déclinaison du Soleil ne varie pratiquement pas, pendant les dix jours de cette navigation estivale, cette raison ne peut qu'être liée à la descente en latitude. En effet, des variations de latitude au cours d'une même journée entraînent une dissymétrie entre des azimuts du Soleil, observés pourtant à des heures symétriques par rapport à midi, par exemple 6 heures et 18 heures. Cela se manifeste bien sur les tables ci-dessus. Les matins, à 6 heures, l'azimut du Soleil est plus proche du nord que le soir à 18 heures, parce que la latitude est devenue plus basse. Donc les changements de cap d'Ozanam ne s'ordonneront pas symétriquement de part et d'autre du méridien de Brest mais de part et d'autre d'un axe de symétrie qui déviara un peu vers le sud-est.

On peut établir ainsi les étapes de cette dérive :

Périodes 24 heures	Latitudes	Caps ouest moyennes	Caps est moyennes	Dérive est	Dérives Cumulées
1 = 21 juin	90 à 86	180°2708	179°1649	0°5643	0°5643
2 = 22 juin	86 à 82	181°3554	178°0472	0°5974	1°1617
3 = 23 juin	82 à 78	182°4462	176°9197	0°6341	1°7958
4 = 24 juin	78 à 74	183°5479	175°7771	0°675	2°4708

5 = 25 juin	74 à 70	184°6656	174°6133	0°7211	3°1919
6 = 26 juin	70 à 66	185°805	173°4216	0°7734	3°9653
7 = 27 juin	66 à 62	186°9723	172°1944	0°8333	4°7986
8 = 28 juin	62 à 58	188°1749	170°9226	0°9025	5°7011
9 = 29 juin	58 à 54	189°4216	169°5954	0°983	6°6841
10 = 30 juin	54 à 50	190°7226	168°1991	1°0783	7°7624
11 = 1 juillet	50 à 46	192°0914	166°7165	1°1921	8°9545

Mais nous ne sommes pas au bout de nos peines : puisque Ozanam s'écarte du méridien de Brest, lorsqu'il est n'importe quelle heure à ses excellentes montres qui conservent l'heure de Brest, les azimuts qu'il relève ne sont pas convenables puisque son heure locale (qu'il ignore) n'est pas celle de Brest. On peut négliger cela les premiers jours mais, ensuite, la méthode est faussée. On peut faire grâce à Ozanam de la ligne 11 puisqu'il ne va qu'à Brest, latitude 48°.

\*\*\*\*\*

Il est possible d'illustrer par un exemple et un dessin, le fait que des manœuvres symétriques, effectuées à des heures symétriques, mais à des latitudes différentes ne se compensent pas et que leur résultante, même si elle maintient bien le bateau dans le 180, ne le maintient pas sur le méridien de Brest.

Dans la position N°1, à 15 heures, le soir du 21 juin, à la latitude 89°30', l'azimut du Soleil est 225°,1548 (le sud = 180°). A l'heure ronde Ozanam fait mettre la barre 45° à gauche du Soleil : il gouverne dans le 180°,1548 donc trop à l'ouest de 0°, 1548.

Dans la position N°2, à 9 heures, le matin du 22 juin, à la latitude 86°30', l'azimut du Soleil est 133°,8518. A l'heure ronde Ozanam fait mettre la barre 45° à droite du Soleil : il gouverne dans le 178°,8518 donc trop à l'est de 1°,1482.

Le solde de ces deux manœuvres censées s'annuler est un glissement de 0°,9934 vers l'est.

Il est évident que les deux manœuvres, pourtant symétriques et exécutées à des heures symétriques par rapport à l'axe midi/minuit, ne se compensent pas ; cela est dû au fait que les azimuts du Soleil ne restent pas égaux, de part et d'autre de cet axe lorsque la latitude ne reste pas, elle-même, inchangée. Le glissement d'Ozanam vers l'est est inéluctable. Mais, sans doute, notre parti pris de faire le voyage en dix jours est-il totalement hors des hypothèses qu'Ozanam pouvait se forger à propos d'une telle aventure : il devait compter par mois et le résultat eût été tout autre. C'est un problème à mille solutions, en fonction des hypothèses de départ, mais les résultats seront toujours, tous, plus ou moins faux, puisque la variation de la latitude est, précisément, la finalité même que nous propose Ozanam, alors qu'elle est, également, la raison de l'inefficacité de

sa méthode. Mais on peut imaginer les discussions sans fin entre Ozanam et ses élèves, ne serait-ce que le choix de la date.

Une question très proche a été exposée par Jean Meeus, dans la revue « L'Astronomie », vol. 116 de mai 2002, p. 206 sq. sous le titre « En marchant vers le Soleil ». Ici le marcheur ne corrige jamais son cap.

\*\*\*\*\*

## Le dessin et sa légende : La navigation d'Ozanam

-----

Ozanam est au pôle Nord, le 21 juin et il appareille à midi vrai, heure de Brest.

Il est donc en période de déclinaison décroissante du Soleil.

Il va vers le Sud, donc descend en latitude.

Il part à midi.

Mais il pourrait partir le 21 Décembre, ou le 21 Mars, ou le 21 Septembre, ou le 16 juin pour naviguer 5 jours avant le solstice et 5 jours après lui .

Ou partir à minuit

Pour être exhaustif il faudrait donc envisager aussi ces autres cas de figure qui produiraient des résultats différents de ceux qui découlent des options d'Ozanam lui-même.

-----

Tous les jours, de midi à minuit, il gouverne trop à l'Ouest, puisqu'il suit un cap écarté de l'azimut du Soleil d'autant de fois  $15^\circ$  qu'il s'est écoulé d'heures depuis midi. Donc le Soleil le tire vers l'Ouest. Les changements de cap, toutes les heures rondes, ont pour but de ramener le bateau dans le  $180^\circ$ . Le Soleil le tire vers l'Ouest et il revient sur sa gauche, augmentant son écart avec l'azimut du Soleil, de  $0^\circ$  à  $180^\circ$ .

Tous les jours, de minuit à midi, il gouverne encore trop à l'Ouest, puisqu'il suit un cap écarté de l'azimut du Soleil d'autant de fois  $15^\circ$  qu'il reste d'heures à passer avant midi. Donc le Soleil le pousse encore vers l'Ouest. Les changements de cap, toutes les heures rondes, ont pour but de ramener le bateau dans le  $180^\circ$ . Le Soleil le pousse vers l'Ouest et il revient sur sa gauche, réduisant son écart avec l'azimut du Soleil, de  $180^\circ$  à  $0^\circ$ .

Il faut bien voir que le Soleil, qui tourne en sens horloge autour du bateau, le tire ou le pousse sans cesse trop à droite de son cap idéal et, donc, Ozanam va devoir sans cesse revenir sur sa gauche. L'après-midi, le Soleil s'éloigne du Sud et Ozanam doit s'écarter du Soleil en sens anti-horloge en appuyant sur bâbord. Le matin le Soleil se rapproche du Sud et Ozanam doit se rapprocher du Soleil, toujours en appuyant sur bâbord.

-----

Maintenant que nous sommes au clair sur la manœuvre il faut se demander si les coups de barre à gauche, un matin, ont le même effet que les coups de barre à gauche, le soir du jour d'avant; en d'autres termes, si l'azimut

du Soleil est le même, au signe près, XYZ heures après midi, le jour J1, à la latitude L1, et XYZ heures avant midi, le jour J2, lendemain de J1, à la latitude L2. Comme L2 est plus bas que L1 et comme on est en période de déclinaison décroissante, l'azimut du mardi 11 heures sera plus loin du Sud que l'azimut du lundi 13 heures. Cela se voit sur les tables complètes du texte. Et, donc, un cap écarté de l'azimut du Soleil, le matin, de  $n$  fois  $15^\circ$ , laissera Ozanam plus à l'Est que le même cap écarté de l'azimut du Soleil, la veille, d'autant de fois  $15^\circ$ , à l'heure symétrique.

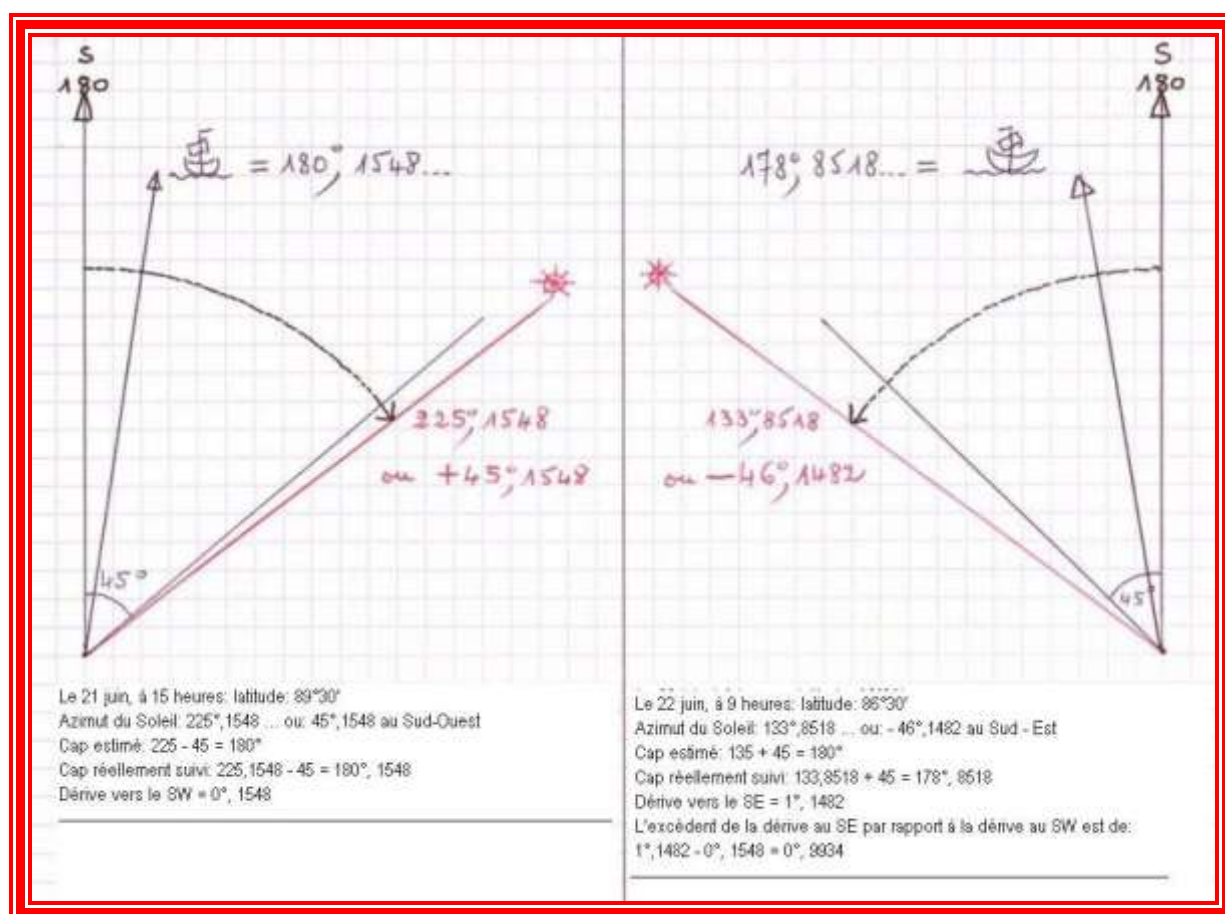
Prenons un exemple dans les tables: le 21 juin après-midi et le 22 juin matin:

Azimut du Soleil, le 21 juin à 15 heures =  $225^\circ,1548$  soit  $45^\circ,1548$  après le Sud

Azimut du Soleil, le 22 juin à 9 heures =  $133^\circ,8518$  soit  $46^\circ,1482$  avant le Sud

Donc le cap donné au barreur, le 21 juin à 15 heures met Ozanam dans l'azimut  $180^\circ,1548$ . Il dérive vers l'Ouest de  $0^\circ,1548$ . Puis, le cap donné au barreur le 22 juin à 9 heures le met dans l'azimut  $178^\circ,8518$ . Il dérive vers l'Est de  $1^\circ,1482$ . Les deux manœuvres ne se sont pas compensées et il restera toujours un excédent de dérive vers l'Est par rapport aux dérives vers l'Ouest. De jour en jour cet excédent se cumule.

Voici le schéma de cette manœuvre :



Position 1

Latitude PHI 1 > PHI 2

Azimut Soleil :  $180 - 18 = 162^\circ$

Correction Ozanam :  $+ 15^\circ = 177^\circ$

\* Position 2

\* Latitude PHI 2 < PHI 1

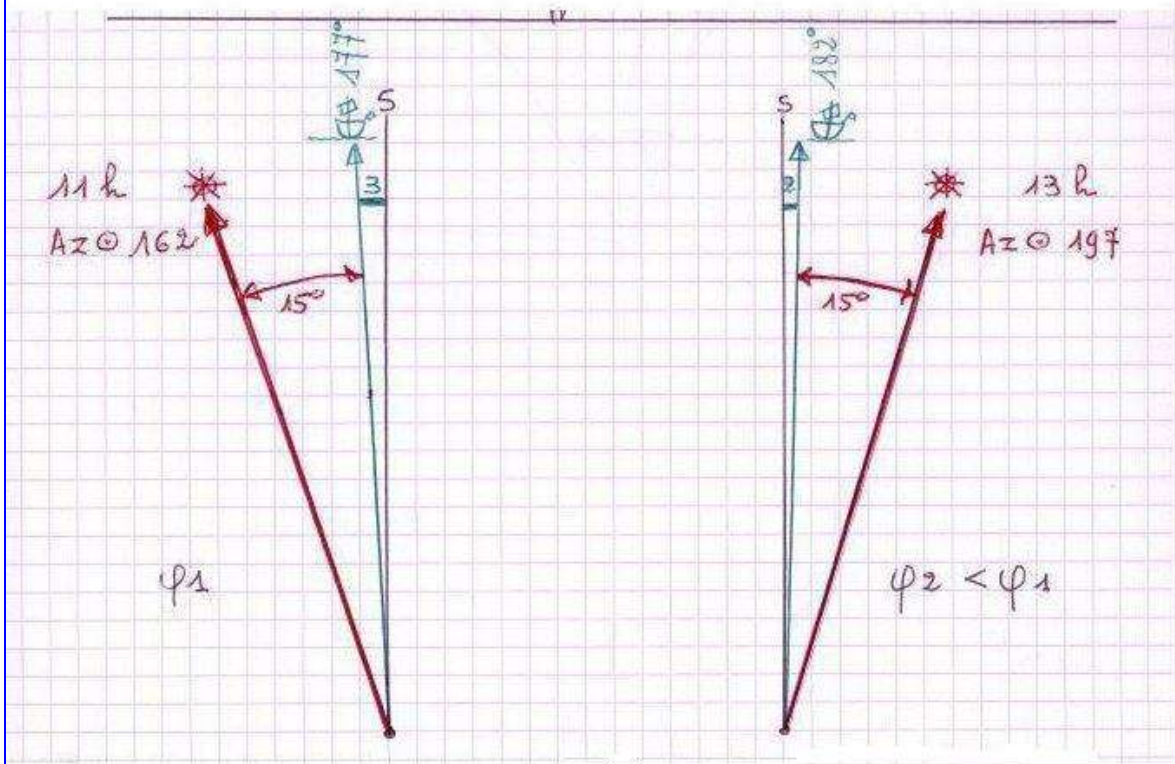
\* Azimut Soleil :  $180 + 17 = 197^\circ$

\* Correction Ozanam :  $- 15^\circ = 182^\circ$

On rappelle qu'Ozanam ne connaît pas l'azimut du Soleil.

Il se contente de s'en écarter de  $15^\circ$  à l'heure ronde, l'après-midi  
et de s'en rapprocher de  $15^\circ$  à l'heure ronde, le matin

Quand il descend en latitude, a fortiori si la déclinaison du Soleil est décroissante, ce qui est le cas ici, Ozanam dévie vers l'est, tout en revenant bien dans le  $180^\circ$  à midi et à minuit. On pourrait imaginer des parcours suffisamment longs pour qu'au contraire, l'accroissement de la déclinaison compense cette dérive vers l'est.



### 332 RÉCRÉATIONS MATHÉMATIQUES.

le plus de succès. Il a donné, pour faire ces calculs, des pratiques qui n'emploient la plupart que la règle & le compas, & qui n'exigent qu'une médiocre connoissance de géométrie & d'astronomie. On les trouve dans l'édition qu'il a donnée du *Traité de Navigation* de M. Bouguer, ainsi que dans les volumes de la *Connoissance des Temps* des années 1765 & 1766. On publie depuis quelques années à Londres, pour l'usage des navigateurs, un *Almanach nautique*, (*nautical Almanach*) où l'on trouve tout calculés les *appulsés* de la lune à diverses fixes pour le méridien de Greenwich, ainsi que les instructions & les pratiques nécessaires pour employer les observations de la lune à la détermination des longitudes.

On a proposé enfin, il y a quelque temps, un nouvel instrument pour observer avec plus de facilité les distances de la lune aux étoiles fixes. Cet instrument, appelé *mégamètre* par son auteur, M. de Charnières, officier de marine, lui a servi à faire des observations dans une traversée d'Europe en Amérique, & il en a publié en 1768 les résultats qui paroissent prouver que cet instrument peut être fort utile à la mer. Je ne vois cependant pas qu'il ait été fort accueilli par les marins, & j'en ignore les raisons.

#### PROBLÈME XI.

*Si un vaisseau étoit parvenu jusqu'à un des pôles, comment seroit-il pour se diriger dans un méridien déterminé?*

LA difficulté que présente au premier abord ce problème, vient de ce que, quand on est à un des pôles, de quelque côté qu'on se tourne, on

### NAVIGATION. 333

regarde le midi. Toute ligne tirée de ce point à un point quelconque de l'horizon, est un méridien : il n'y a donc plus ni est ni ouest. Or s'il n'y a ni est ni ouest, de quel côté se diriger, comment reconnoître parmi tous les méridiens semblables, celui qu'il faut prendre pour aller au lieu désiré?

Ce n'est pas tout ; il est probable que si l'on parvenoit à un des pôles, la boussole deviendroit entièrement inutile, ou, comme disent les marins, absolument folle. Il n'est pourtant que ces deux manières de naviguer, ou par l'inspection des astres, ou, pour mieux dire, par l'une & l'autre combinées.

Tel est le problème qu'auroit eu à résoudre l'astronome embarqué sur le vaisseau du capitaine Phipps, chargé de tenter de nouveau un passage à travers l'Océan glacial. Si les glaces ne s'y fussent pas opposées, il eût été jusqu'au 90<sup>e</sup> degré de latitude, pour arriver par le plus court chemin au détroit qui sépare l'Asie de l'Amérique, détroit dont l'existence est aujourd'hui constatée par les navigations des Russes, & qui gît par le 176<sup>e</sup> degré environ de longitude. Je me proposai ce problème, lorsque j'entendis parler de cette nouvelle tentative, qui devoit en France être exécutée par M. de Bougainville. J'ai ouï dire qu'on le proposa à un astronome célèbre de l'Académie royale des Sciences. J'ignore ce qu'il répondit : quant à moi, voici ma solution.

Je suppose que j'eusse été le navigateur chargé de cette expédition. Je me serois muni, pour n'être pas pris au dépourvu, de deux ou trois bonnes montres marines, montées ensemble au temps du port de départ, que nous supposons Brest.

### 334 RÉCRÉATIONS MATHÉMATIQUES.

Supposons maintenant que j'eusse trouvé une mer ouverte, & que je fusse arrivé au pôle arctique. Supposons encore que ma boussole fût devenue absolument inutile, mais que j'eusse eu le soleil sur l'horizon; ce qui est le cas d'une pareille navigation, qu'on n'entreprendroit jamais que pendant l'été de ces climats, temps où le soleil reste levé plusieurs mois: il est évident qu'en consultant mes montres marines, le moment où elles eussent marqué midi, eût été celui où le soleil étoit dans le méridien de Brest: donc, si j'eusse voulu y retourner, je n'eusse eu qu'à mettre à cet instant le cap sur le soleil, & cingler sur cette route, de telle manière qu'au bout d'une heure j'eusse eu le soleil 15 degrés à tribord; au bout de deux heures, à 30 degrés; &c. Il est aisé de sentir que, par ce moyen, j'eusse, quoique dépourvu de boussole, conservé mon vaisseau assez exactement sur la trace du méridien déterminé.

Maintenant, que le méridien sur lequel j'eusse dû naviguer eût été éloigné de celui du lieu de départ de 176°, comme paroît l'être celui du détroit qui sépare l'Asie de l'Amérique: il est facile de voir que je n'aurois eu qu'à mettre le cap, à 4 degrés près, sur le point diamétralement opposé au soleil, lorsque les montres auroient marqué midi, ou sur le soleil lui-même, lorsqu'elles auroient marqué minuit & 16 minutes; puis me soutenir sur cette route par le moyen expliqué ci-dessus, en relevant d'heure en heure l'angle du vertical du soleil avec la route du vaisseau. En supposant que l'ouverture du détroit dont nous avons parlé, fût par la longitude que nous avons dite à l'égard de Brest, il est évident que je n'eusse pu manquer de donner dedans.

### NAVIGATION.

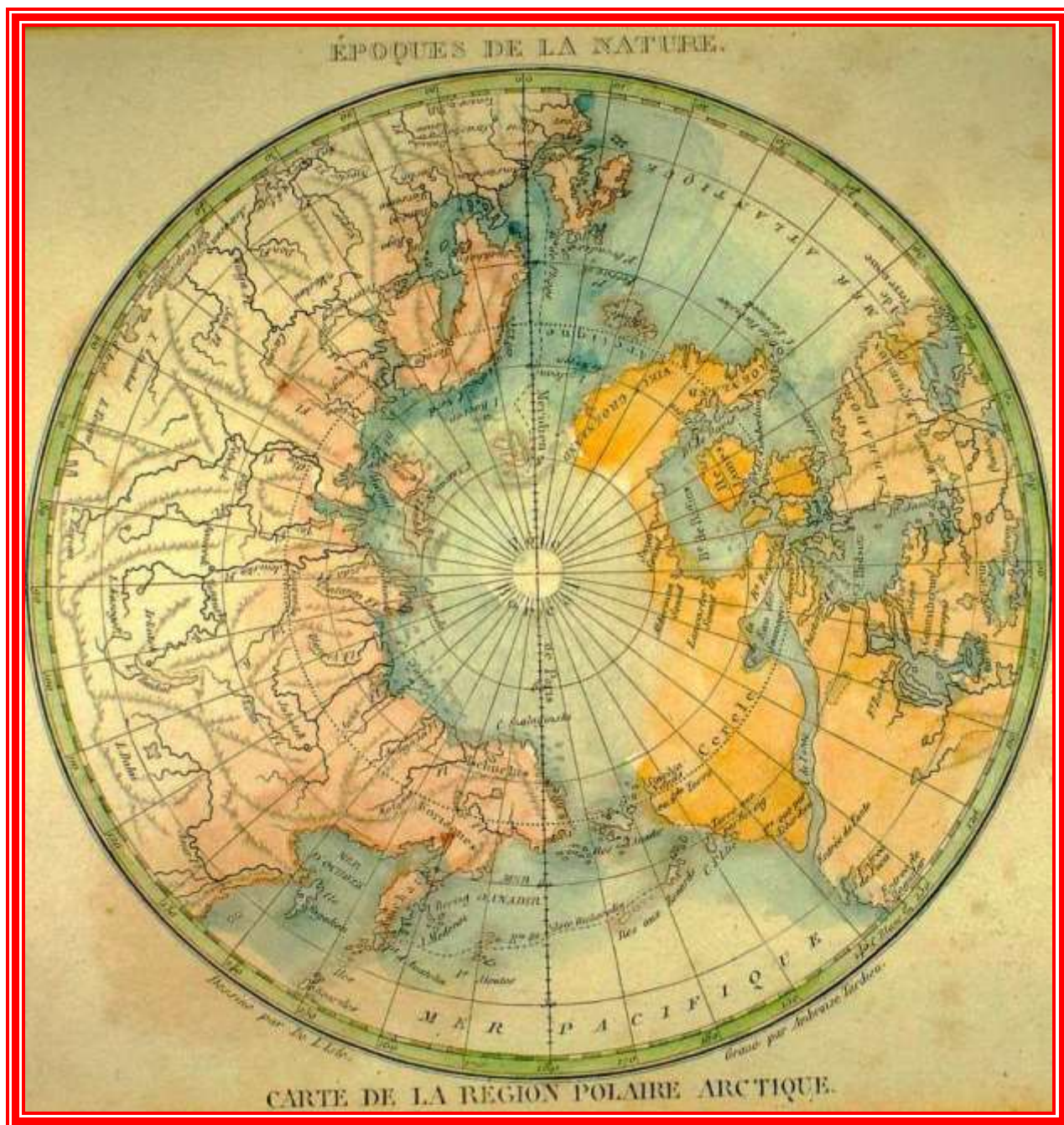
335

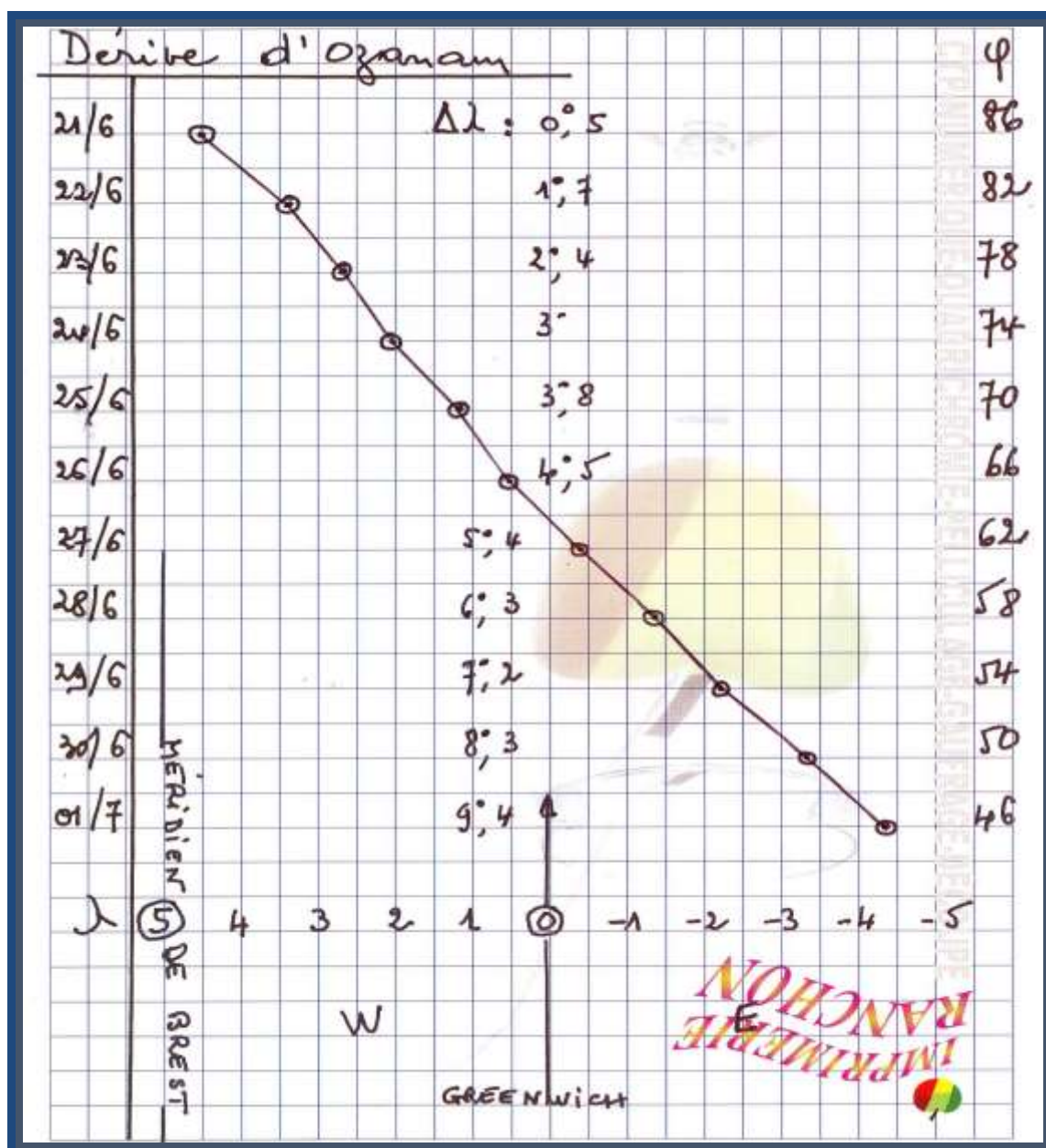
Mais il faut observer que l'expédient que nous venons de décrire ne seroit nécessaire que dans une grande proximité du pôle: on n'en seroit pas plutôt éloigné d'une dizaine de degrés, qu'on auroit à choix divers autres moyens de se diriger. Mais nous n'insisterons pas sur cela; car il seroit fort inutile d'indiquer ces moyens, puisque les dernières navigations paroissent prouver que le pôle arctique de la terre est entouré, dans le temps le plus favorable, c'est-à-dire même pendant l'été de notre hémisphère, d'une calotte de glace d'une dizaine de degrés au moins de diamètre, & même qui s'étend davantage sur les côtes de l'Asie & de l'Amérique, où assez probablement elle tient à ces deux continents, si ce n'est peut-être dans quelques étés excessivement chauds. Je suis enfin persuadé que la tentative de traverser l'Océan glacial, pour aller dans les mers de la Chine & du Japon, est une chimère; & quand même on y parviendrait en longeant les côtes boréales de l'Asie ou de l'Amérique jusqu'au détroit dont nous avons parlé, ce voyage seroit accompagné de tant de dangers, & exigeroit des circonstances si favorables, que ce seroit une folie de prendre cette route. Que deviendrait en effet un vaisseau qui, ayant été retardé par des accidents si communs à la mer, seroit obligé d'hiverner un an entier ou environ, dans un port presque inhabité de la côte-nord de l'Asie? Quel secours pourroit-il attendre d'une peuplade de Samoïedes, ou de quelque autre nation plus barbare encore? Si l'équipage de ce vaisseau y restoit, comment se garantirait-il du froid excessif de ces climats? S'il l'abandonnoit pour habiter une cabane bien close & bien calfeutrée, après y

**336 RÉCRÉATIONS MATHÉMATIQUES.**

avoir porté ses vivres , quel risque ne courroit pas le vaisseau d'être pillé , brûlé ou mis en morceaux ? Un pareil voyage exigeroit que la nation commerçante qui le feroit , eût un port à elle dans une situation avantageuse , afin que les vaisseaux forcés d'hiverner , pussent y trouver un abri & un asyle. Mais quelle apparence que la Russie , maîtresse de ces pays , y consentît , elle qui a caché pendant si long-temps les lumieres même qu'elle avoit sur le détroit dont nous avons parlé ?







\*\*\*\*\*

(\*!\*) Nous demandons pardon aux vrais marins pour tous ces accents circonflexes sur le A de bâbord, ce qu'ils n'aiment guère.