

# JOURNAL DE LA SOCIÉTÉ STATISTIQUE DE PARIS

L.-L. VAUTHIER

## La prévision en statistique (suite et fin)

*Journal de la société statistique de Paris*, tome 42 (1901), p. 329-347

[http://www.numdam.org/item?id=JSFS\\_1901\\_\\_42\\_\\_329\\_0](http://www.numdam.org/item?id=JSFS_1901__42__329_0)

© Société de statistique de Paris, 1901, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Journal de la société statistique de Paris » (<http://publications-sfds.math.cnrs.fr/index.php/J-SFdS>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme  
Numérisation de documents anciens mathématiques  
<http://www.numdam.org/>

# JOURNAL

DE LA

## SOCIÉTÉ DE STATISTIQUE DE PARIS

N° 10. — OCTOBRE 1901.



I.

LA PRÉVISION EN STATISTIQUE.

(Suite et fin [1].)

IV

RECHERCHES DIRECTES DE PROCÉDÉS PRÉVISIONNELS.

2<sup>e</sup> SOLUTION : PROCÉDÉS *c* ET *d* (suite et fin).

De là (2), ressort un nouveau procédé de recherche consistant simplement — en désignant (croquis fig. 3) par  $y_0$  et  $y_n$  les deux ordonnées correspondant aux constatations extrêmes, par  $Y_2$  celle cherchée, et par  $D$  et  $D'$ , les durées respectives de la période jalonnée et du prolongement — à écrire, conformément à ce qui a été expliqué, à propos du 1<sup>er</sup> procédé :

$$Y_2 = y_0 + (y_n - y_0) \frac{D + D'}{D};$$

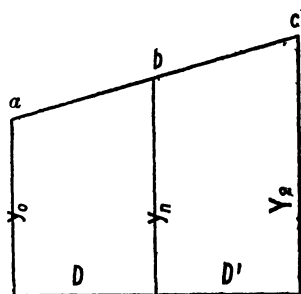


Fig. 3.

relation qui peut prendre aussi la forme :

$$Y_2 = y_n + (y_0 - y_n) \frac{D'}{D};$$

Ce procédé est probablement le premier qui vient spontanément à la pensée de

(1) Voir numéro de septembre, p. 310.

(2) Caractère dominant des faits extrêmes dans une série de faits observés.

qui veut hasarder une prévision. Nous en avons inscrit, dans le tableau (B) [v. p. 322], les résultats à la colonne (10), sous l'indication : 2<sup>e</sup> procédé, solution *c*, et les chiffres montrent que, dans les cas qui nous occupent, ces résultats ne s'écartent pas numériquement beaucoup de ceux fournis par le 1<sup>er</sup> procédé.

Il est toutefois une observation que suscite la solution précédente. Elle donne

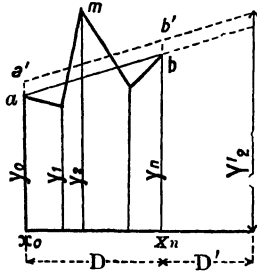


Fig. 4.

l'idée du mouvement ascensionnel ou descendant du phénomène observé; mais, dans le champ jalonné lui-même, la droite  $ab$  (croquis fig. 4) laisse en dessus et en dessous d'elle des observations dont il y a lieu de tenir compte. Ce résultat peut être obtenu, au moyen de la droite compensatrice  $a'b'$ , parallèle à  $ab$ , ayant pour propriété que la surface du trapèze  $x_0x_n a'b'$  soit égale à l'aire qui, comprise entre les ordonnées  $y_0$  et  $y_n$ , est terminée, dans le haut, par le contour brisé  $amb$ .

En désignant cette aire par  $S$  et, comme plus haut, la durée de la période jalonnée par  $D$ , le trapèze  $x_0x_n a'b'$ , de surface égale, aura pour hauteur moyenne :  $\frac{S}{D}$ , et la moyenne hauteur du trapèze  $x_0x_n ab$  étant  $\frac{y_0 + y_n}{2}$ , la distance verticale  $e$  entre les deux parallèles  $a'b'$  et  $ab$  est donnée par la relation :

$$e = \frac{S}{D} - \frac{y_0 + y_n}{2};$$

$e$  étant positif ou négatif suivant le rapport de grandeur des deux termes du second membre. On a, d'ailleurs, en désignant par  $Y_2$  la dimension cherchée, et conservant à  $Y_2$  le sens qui lui a été donné ci-dessus, la formule :

$$Y_2 = Y_1 + e.$$

C'est d'après cette relation qu'ont été établis les nombres qui, sous la désignation : 2<sup>e</sup> procédé, solution *d*, figurent à la 11<sup>e</sup> colonne du tableau (B), lesquels diffèrent relativement très peu, tantôt en plus, tantôt en moins, suivant le signe de  $e$ , de ceux de la colonne précédente.

La considération, correspondant à l'écart  $e$  dont il vient d'être parlé, nous avait suggéré l'idée d'un 3<sup>e</sup> procédé, lequel consistait à substituer à la droite compensatrice  $a'b'$  un arc de parabole du 2<sup>e</sup> degré, passant par les points  $a$  et  $b$ , enveloppant une aire égale à celle du parallélogramme  $ab a'b'$  et prolongé hors du champ jalonné, soit par la courbe elle-même, soit par sa tangente au point  $b$ .

Cette disposition conduisait, pour les ordonnées des points de rencontre — en conservant aux lettres employées le sens qui leur a été attribué ci-dessus — aux expressions ci-après :

1<sup>o</sup> Pour le système du prolongement de la parabole par sa tangente au point  $b$  :

$$Y_2 = Y_1 - 6e \times \frac{D'}{D};$$

2<sup>o</sup> Pour le système du prolongement à partir du point  $b$  de la courbe elle-même :

$$Y_2 = Y_1 - 6e \times \frac{D'}{D} \left( \frac{D'}{D} + 1 \right).$$

Ces formules, dont le second terme, soustractif ou additif suivant le signe de  $e$ , prend, dans le second système surtout, une valeur numérique considérable, quand  $e$  n'est pas très petit, et que le rapport  $\frac{D'}{D}$  dépasse l'unité, ainsi qu'il arrive dans quelques cas du tableau (B), conduisent à des points de rencontre s'éloignant notablement, dans la plupart des cas, de ceux donnés par le procédé précédent. Ce ne serait pas là un motif de rejet suffisant, si la logique justifiait ce mode de procéder. Mais, indépendamment de ce que nous avons précédemment exposé sur l'inconvénient de lier trop étroitement les prévisions aux faits constatés, il est facile de reconnaître qu'en se rattachant au mouvement de ces faits par une courbe définie, dont l'écart  $e$  est l'élément déterminatif, on ne représente, même dans les cas les plus simples, ce mouvement que d'une façon très imparfaite, l'écart  $e$  conservant la même valeur, et, par suite, la courbe restant la même, soit que le mouvement, régulier d'abord, se brise à la fin, ou que, rapide au début, il ait marché ensuite avec plus de lenteur, ainsi que l'indique le croquis (fig. 5) ci-contre.

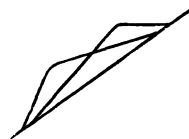


Fig. 5.

Les considérations qui précèdent nous ont amené à ne pas faire figurer au tableau B les résultats fournis par le procédé subsidiaire visé, que nous rejetons en principe.

## V.

### DISCUSSION DES RÉSULTATS.

En possession des résultats prévisionnels obtenus par l'emploi des procédés ci-dessus décrits, tels qu'ils sont portés aux colonnes de 8 à 11 du tableau (B), nous sommes en mesure de les discuter comparativement avec ceux de M. Corthell.

Remarquons d'abord, avant de procéder à cette discussion, que, si les cas 15, 16 et 17 sont les plus intéressants au point de vue statistique, eu égard à leur caractère de généralité, les 14 cas précédents, auxquels leur nature technique enlève, statistiquement, beaucoup d'intérêt, sont ceux qui, par bien des côtés, se prêtent le mieux à la discussion des résultats prévisionnels obtenus; et, dans le nombre, c'est le groupe des 8 premiers cas qui a l'avantage sous ce rapport.

C'est par ce groupe que nous allons commencer, et, eu égard à la faible différence numérique qui sépare les deux solutions de chaque procédé, ce sont les moyennes de ces solutions que nous viserons dans chaque cas.

#### 1<sup>er</sup> groupe, formé des 8 premiers cas.

Les quatre premiers de ces cas se rapportent aux dimensions à prévoir, en 1948, pour les plus grands navires. Voici le petit tableau auquel conduit, pour la *longueur*, la *largeur*, le *creux* et le *tirant d'eau* de ceux-ci, la comparaison des chiffres de M. Corthell avec les moyennes de nos procédés :

	Longueur.	Largeur.	Creux.	Tirant d'eau.
	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.
Corthell. . . . .	304,80	30,50	13,10	10,10
1 <sup>er</sup> procédé . . . . .	262,30	24,25	15,95	10,80
2 <sup>e</sup> procédé . . . . .	260,95	25,75	16,55	10,85

**VALEUR PRÉVISIONNELLE, EN 1948,**

NUMÉROS D'ORDRE.	NATURE DES ÉLÉMENTS consignés.	UNITÉ DE compte.	PRÉVISIONS DE M. Corthell.	INDICATIONS GÉNÉRALES UTILES pour la suite du tableau.			
				Sans du mouvement ou descente.	Valeur et signe de e.	Valeur de D' D	
							5
1	2	3	4	5	6	7	
1	Conditions commerciales des vingt navires les plus grands.	Longueur moyenne . . . . .	Mètre (m).	304 <sup>m</sup> ,8	Montée.	+ 2 <sup>m</sup> ,81	1
2		Largeur moyenne . . . . .	id.	30 ,5	id.	— 0 ,94	1
3		Creux moyen . . . . .	id.	13 ,1	id.	— 0 ,47	1
4		Tirant d'eau moyen en charge . .	id.	10 ,1	id.	+ 0 ,07	1
5		Vitesse moyenne . . . . .	Nœud (n).	24 <sup>n</sup>	id.	— 0 <sup>n</sup> ,16	1
6		Tonnage moyen extrême . . . . .	Tonneau (T).	30 000 <sup>T</sup>	id.	— 1 440 <sup>T</sup>	1
7	Vitesse des navires les plus rapides . . .	Nœud (n).	30 <sup>n</sup>	id.	+ 0 <sup>n</sup> ,635	1	
8	Bassins de radoub de 152 <sup>m</sup> ,4 de long et au- dessus . . . . .	Nombre.	176	id.	+ 2,2	50 17	
9	Navires à voiles.	Nombre total . . . . .	id.	10 800	Descente.	— 680	2
10		Tonnage total . . . . .	Millions de tonneaux (MT).	3 <sup>MT</sup> ,241	id.	+ 0 <sup>MT</sup> ,553	2
11		Tonnage moyen courant . . . . .	Tonneaux (T).	300 <sup>T</sup>	Montée	+ 13 <sup>T</sup> ,6	2
12	Navires à vapeur.	Nombre total (a) . . . . .	Nombre.	16 635	id.	— 418	1
13		Tonnage total (a) . . . . .	Millions de tonneaux (MT).	45 <sup>MT</sup>	id.	— 2 <sup>MT</sup> ,888	1
14		Tonnage moyen courant (a) . . . . .	Tonneaux (T).	2 700 <sup>T</sup>	id.	— 1 <sup>MT</sup> ,123	2
14					id.	— 06 <sup>T</sup>	1
14	id.	id.	id.	— 25 <sup>T</sup>	2		
15	Capacité de transport effective totale à va- peur et à voiles . . . . .	Millions de tonneaux (MT).	188 <sup>MT</sup>	id.	— 7 <sup>MT</sup> ,6	1	
16	Poids des marchandises transportées par mer . . . . .	Millions de tonnes (Mt).	435 <sup>Mt</sup>	id.	— 17 <sup>Mt</sup> ,2	1	
17	Valeur des exportations combinées des dix principales puissances du monde . . . . .	Billions de francs (BF).	54 <sup>BF</sup> ,20	id.	— 0 <sup>BF</sup> ,054	1	

**EAU (B).**

**DES DIVERS ÉLÉMENTS DU TABLEAU.**

PRÉVISIONS RÉSULTANT					DE LA présente étude.	OBSERVATIONS
DU 1 <sup>er</sup> PROCÉDÉ.		DU 2 <sup>e</sup> PROCÉDÉ.		12		
Solution a Y <sub>1</sub>	Solution b Y <sub>1</sub>	Solution c Y <sub>2</sub>	Solution d Y <sub>2</sub>			
8	9	10	11			
262 <sup>m</sup> ,4	262 <sup>m</sup> ,2	259 <sup>m</sup> ,8	262 <sup>m</sup> ,1	240 <sup>m</sup> ,0	<p align="center">13</p> <p align="center">FACULTÉ DE DROIT SALLE DE TRAVAIL ÉTUDES ÉCONOMIQUES &amp; STATISTIQUES</p> <p>(a) Les cas 12, 13 et 14 présentent cette circonstance spéciale que les prévisions ont été établies d'après deux bases différentes; l'une, comprenant la totalité de la période jalonnée; l'autre, sa seconde moitié seulement, à partir de 1873. Cette mesure s'explique par le fait qu'en 1873 (voir tableau A [*]), la marine commerciale à vapeur n'ayant qu'une importance extrêmement faible, les données s'y rapportant ne fournissent qu'un point de départ suspect. On peut voir que, notamment, pour le tonnage total, on obtient des résultats très différents selon la base adoptée. C'est, en conséquence, pour les cas dont il s'agit, des résultats de la seconde ligne seule que nous ferons usage.</p> <p align="center">[*] Numero de septembre, p. 313.</p> <p align="center"><i>Observation générale.</i></p> <p>En mettant à part les résultats négatifs des cas 9 et 10 inadmissibles, ainsi que nous l'expliquons ailleurs, et en négligeant, pour les cas 12, 13 et 14, d'après l'observation (a), les prévisions portées aux premières lignes, il est facile de s'assurer à simple vue combien différent peu les uns des autres les résultats obtenus par les divers modes de détermination.</p> <p>En précisant davantage, si l'on prend, cas par cas, pour les 14 restant à considérer, les rapports avec le premier des trois autres résultats, on trouve que les écarts les plus grands et les écarts moyens tant en plus qu'en moins sont les suivants :</p>	
24 ,3	24 ,2	26 ,3	25 ,3	24 ,0		
15 ,2	16 ,7	16 ,8	16 ,3	12 ,5		
10 ,8	10 ,8	10 ,8	10 ,9	9 ,5		
27 <sup>n</sup> ,4	26 <sup>n</sup> ,8	26 <sup>n</sup> ,8	26 <sup>n</sup> ,6	24 <sup>n</sup>		
18 508 <sup>r</sup>	18 606 <sup>r</sup>	20 001 <sup>r</sup>	18 561 <sup>r</sup>	18 000 <sup>r</sup>		
33 <sup>n</sup> ,4	35 <sup>n</sup> ,2	34 <sup>n</sup>	34 <sup>n</sup> ,6	30 <sup>n</sup>		
231	231	228	230	176		
— 27 568	— 25 437	— 24 620	— 25 300	8 100		
— 2 <sup>nr</sup> ,329	— 1 <sup>nr</sup> ,134	— 1 <sup>nr</sup> ,087	— 1 <sup>nr</sup> ,134	3 <sup>nr</sup> ,240		
418 <sup>r</sup> ,5	419 <sup>r</sup> ,2	405 <sup>r</sup>	419 <sup>r</sup>	400 <sup>r</sup>		
22 358	21 903	22 300	21 882	"		
23 940	23 248	23 517	23 340	22 500		
31 <sup>nr</sup> ,322	33 <sup>nr</sup> ,190	35 <sup>nr</sup> ,704	32 <sup>nr</sup> ,816	"		
45 <sup>nr</sup> ,271	43 <sup>nr</sup> ,417	45 <sup>nr</sup> ,011	43 <sup>nr</sup> ,888	90 <sup>nr</sup>		
2 873 <sup>r</sup>	2 806 <sup>r</sup>	2 861 <sup>r</sup>	2 798 <sup>r</sup>	"		
3 003 <sup>r</sup>	3 052 <sup>r</sup>	3 079 <sup>r</sup>	3 054 <sup>r</sup>	4 000 <sup>r</sup>		
107 <sup>nr</sup> ,1	101 <sup>nr</sup> ,9	108 <sup>nr</sup> ,5	100 <sup>nr</sup> ,9	273 <sup>nr</sup>		
371 <sup>ml</sup> ,3	315 <sup>ml</sup> ,8	376 <sup>ml</sup> ,5	359 <sup>ml</sup> ,3	820 <sup>ml</sup>		
65 <sup>nr</sup> ,40	63 <sup>nr</sup> ,06	62 <sup>nr</sup> ,87	62 <sup>nr</sup> ,82	54 <sup>nr</sup>		

	$\frac{Y'}{Y_1}$	$\frac{Y_2}{Y_1}$	$\frac{Y_3}{Y_1}$
Écart maximum . . . . .	Cas n° 3 : 1,099	Cas n° 8 : 1,105	Cas n° 3 : 1,072
} en — . . . . .	Cas n° 16 : 0,932	Cas n° 17 : 0,961	Cas n° 17 : 0,961
Écart moyen . . . . .	0,025	0,046	0,026
} en — . . . . .	0,029	0,020	0,023

Un premier point attire l'attention. La *longueur* moyenne actuelle des dix plus grands navires connus est de 164<sup>m</sup>,9. Elle était, en 1848, de 70<sup>m</sup>,1, et, en suivant la progression, on n'arrive, pour 1948, qu'à 259<sup>m</sup>,8. Comment se fait-il que M. Corthell augmente de près des  $\frac{2}{10}$  cette dimension? Cela est difficile à comprendre.

Sans doute, l'exagération de la longueur ne rencontre pas des obstacles matériels aussi caractérisés que ceux qui s'opposent à l'augmentation du *creux* et surtout du *tirant d'eau*, dont nous parlerons tout à l'heure. Toutefois, ces navires peuvent avoir à fréquenter des ports dont les chenaux se prêteraient mal à la facile giration

de bateaux de plus de  $\frac{3}{10}$  de kilomètre de longueur. Combien d'avant-ports où ils seraient mal à l'aise, de bassins à flot où ils ne pourraient évoluer? et où trouveraient-ils des formes de radoub où pénétrer, lorsqu'il n'y en a encore qu'un petit nombre atteignant la moitié de la longueur prévue? Sans doute, dans 50 ans, bien des choses auront changé dans les ports maritimes du globe. Mais pourquoi supposer que la longueur des plus grands navires, qui a crû de 94<sup>m</sup>,8 dans les 50 années antérieures à 1898, va prendre dans les années suivantes une marche plus rapide, et croître de 140 mètres? Cela est bien peu probable. C'est supposer une marche ascensionnelle annuelle de 2<sup>m</sup>,8. Or, dans le passé, la plus rapide ascension annuelle, entre 1873 et 1881, n'a pas dépassé 2<sup>m</sup>,66. Cette vitesse s'est notablement ralentie depuis, et n'a plus été, en moyenne, que de 1<sup>m</sup>,45 dans les 17 années suivantes. Ce ralentissement tient sans doute à plusieurs causes : Ce sont, d'une part, des difficultés matérielles de construction, dont l'industrie pourra triompher, mais aussi, d'autre part, des difficultés hydrographiques de réception et de garage d'appareils flottants de trop grande dimension — ces dernières plus difficiles et surtout plus coûteuses à écarter. La marche ascensionnelle des 17 dernières années conduirait, pour 50 ans, à une augmentation de longueur de 72<sup>m</sup>,5. On arriverait ainsi, en 1948, à 237<sup>m</sup>,4. Nos procédés nous donnent un peu plus. En fixant à 240 mètres, soit près d'un quart de kilomètre, la longueur des plus grands navires dont usera le commerce au milieu du x<sup>e</sup> siècle, c'est, pensons-nous, aller aussi loin que la saine raison puisse le permettre. Nous nous arrêtons à cette prévision, dont il ne nous sera certainement pas donné de vérifier, personnellement, l'exactitude.

Passons à la *largeur*. M. Corthell a assigné à celle-ci un dixième exactement de la longueur. C'est la proportion moyenne vers laquelle converge cette dimension pour les navires fins. Nos procédés nous donnent un peu moins que cette proportion. En fait, pour la totalité de la période jalonnée, le rapport de la largeur à la longueur a été de 0,1135, un peu plus de  $\frac{1}{9}$ . Ce rapport, qui s'élevait, en 1848, à

0,157, est descendu à 0,098, un peu au-dessous de  $\frac{1}{10}$ , en 1881, à la fin de la plus rapide ascension de la longueur. Nous ferons comme M. Corthell; nous prendrons la proportion du dixième; nous fixerons à 24 mètres, en prévision, la largeur des plus grands navires du milieu du siècle prochain, et pensons ne pas rester ainsi au-dessous de la vérité.

Pour le *creux*, — en admettant que nous entendions bien par là la même chose que M. Corthell, c'est-à-dire la distance verticale entre le plancher supérieur du navire (son franc tillac) et le fond de la cale, — cette dimension, mise en rapport avec la

largeur, en est, d'après les chiffres relevés, et avec de très minimes écarts, les 0,64 à fort peu près. Cette proportion est bien aussi, très approximativement, celle à laquelle conduisent nos procédés. Son application eût dû amener M. Corthell au chiffre de 19<sup>m</sup>,52. Il a pris seulement 13<sup>m</sup>,1; en cela il a bien fait.

Les raisons de cette approbation, nous allons les donner, en parlant du tirant d'eau, avec lequel le creux a une relation très directe; et c'est plutôt encore, selon nous, au-dessous de 13<sup>m</sup>,10 qu'il convient de se placer. Nous pensons que 12 mètres, 12<sup>m</sup>,5 au plus, est une limite extrême qui ne sera pas dépassée. Le creux à venir resterait ainsi les 0,52 de la largeur, tandis que M. Corthell descend à la proportion 0,43, s'éloignant ainsi plus que nous de la proportion normale actuelle.

*Tirant d'eau.* — Le tirant d'eau de 8 mètres était, à une époque toute récente, considéré comme le régulateur des flottes du monde. C'est pour cette dimension type qu'a été, en ces dernières années, approfondi à 8<sup>m</sup>,50 le canal de Suez, adapté d'abord seulement au tirant d'eau de 7 mètres. Du temps de la voile et des navires en bois, 8 mètres (24 pieds français) étaient, pour la marine de guerre, un chiffre extrême: c'était le tirant d'eau des vaisseaux de ligne. Pour la flotte moderne de combat, cette limite a été dépassée. En 1882, les grands cuirassés tiraient 9<sup>m</sup>,30. Mais on a reconnu de tels inconvénients et difficultés à leur conserver cette profondeur qu'on tend à les ramener à ne pas excéder 8<sup>m</sup>,75. Cela montre la gravité des obstacles qui s'opposent à l'augmentation de cet élément.

Quant à la marine de commerce, son tirant d'eau s'était élevé, en 43 ans, de 1848 à 1891, par un mouvement ascensionnel assez irrégulier (coupé d'un long arrêt entre 1873 et 1881), de 5<sup>m</sup>,8 à 8<sup>m</sup>,2, dimension qu'elle n'a pas dépassé, depuis lors, de plus de un décimètre.

Il y a, dans ce dernier fait, un enseignement. M. Corthell ne l'a pas méconnu. Au lieu de faire croître le tirant d'eau de 2<sup>m</sup>,50, dans le cinquanteaire à parcourir, comme celui-ci a crû dans le cinquanteaire jalonné, il ne l'a augmenté que de 1<sup>m</sup>,80. Nous pensons, toutefois, qu'il est allé notablement trop loin. Au taux de 0<sup>m</sup>,10 d'augmentation des sept dernières années, l'ascension serait, pour 50 ans, de 0,70 seulement, ce qui conduirait à 9 mètres en 1948. C'est peut-être un peu faible, mais 9<sup>m</sup>,50 est, assurément, une limite extrême qui ne sera pas dépassée.

Nos procédés prévisionnels, basés sur la totalité de la période jalonnée, donnent davantage. Nous n'hésitons pas à les corriger.

Un tirant d'eau de 9<sup>m</sup>,50 exige, au plus bas mot, dans les chenaux et canaux maritimes, un brassiage de 10 mètres, soit tout près de 33 pieds anglais. Que de remaniements dans tout ce qui existe pour en arriver là! Le grand canal de Kiel, tout récemment inauguré, devrait être, avec ses écluses de garde, approfondi de 1 mètre; le canal de Suez être, à nouveau, recreusé de 1<sup>m</sup>,50; le canal qui relie Amsterdam à la mer, remanié il y a peu de temps, encore approfondi de 1 mètre; celui de Corinthe, établi pour 26 pieds anglais (7<sup>m</sup>,92) devrait voir son plafond abaissé de plus de 2 mètres, et la même nécessité s'imposerait pour le canal de Manchester et ses nombreuses écluses, construites aussi d'après le programme de 26 pieds. Quant aux ports maritimes, presque tous ceux du monde deviendraient inutilisables dans leurs conditions actuelles. Dans les mers à niveau fixe, seuls ceux de Constantinople, Gênes, Naples et Marseille resteraient accessibles; et, dans les mers à marée, combien, parmi ceux, de beaucoup les plus favorisés, dont les accès ne sont praticables, dans les marées de morte eau, que pour des tirants d'eau plus ou moins inférieurs



à 8 mètres, exigeraient, pour devenir accessibles autrement qu'aux plus grandes marées, des travaux difficiles et des dépenses colossales? Anvers, New-York, Londres et Liverpool sont dans ce cas. Enfin, il n'existerait plus dans le monde de quais accostables. Les bassins à flot devraient être approfondis, les seuils de leurs portes abaissés et les gigantesques constructions récentes, en eau libre, de Lisbonne et d'Anvers deviendraient insuffisantes. Seuls, dans les mers à niveau fixe, les quais de Marseille offriraient encore le mouillage nécessaire. Dans tous les autres ports des dites mers, le brassiage pour rendre les quais accostables devrait, dans les meilleurs ports, être augmenté de 1 mètre à 4<sup>m</sup>,50.

Ces considérations apportent plus d'arguments qu'il n'en faut pour justifier notre conclusion, qui met ainsi, comme l'a fait M. Corthell, une différence de 3 mètres entre le creux et le tirant d'eau.

L'examen que nous venons de faire nous amène trop naturellement à la question du *tonnage* des navires considérés pour que nous n'interventions pas l'ordre des cas suivi par notre auteur, pour traiter cette question immédiatement.

Sur ce point, se présente un énorme écart entre M. Corthell, qui conclut à 30 000 tonneaux, et nos procédés qui conduisent respectivement, nombre rond, par des moyennes de solutions peu distantes l'une de l'autre, à 18 600 et 19 300 tonneaux.

Le tonnage est une question de volume. Il se déduit de la capacité totale intérieure du navire, qui exprime le *tonnage brut*, d'où ressort le *tonnage légal* ou de *jauge*, par distraction des espaces nécessaires au logement de l'équipage, et, en plus, dans les navires à vapeur, des emplacements occupés par les machines, les chaudières et les soutes à charbon. Ces réductions de volume sont encore l'objet de controverses d'un pays à l'autre. Certaines nations les exagèrent parfois tellement que le tonnage légal, d'après lequel sont payés les droits d'ancre et de stationnement, descend à presque rien (1). Le tonnage légal serait, d'après cela, une base incertaine de comparaison. C'est très probablement du tonnage brut dont M. Corthell a voulu parler, et c'est ainsi que nous l'entendons.

Ce point établi, il existe, naturellement, entre ce tonnage et les dimensions principales du navire un certain rapport. Le tonneau de jauge est un volume de 2<sup>m</sup>,83 (100 pieds cubiques anglais) et, en comparant, pour la période jalonnée, le produit des trois dimensions des navires, avec le nombre correspondant de tonneaux accusés par le cas n° 6, on en déduit, au lieu de 2<sup>m</sup>,83, les volumes suivants se rapportant à un tonneau :

1848	1873	1881	1891	1898
3 <sup>m</sup> ,774	3 <sup>m</sup> ,544	3 <sup>m</sup> ,567	3 <sup>m</sup> ,455	3 <sup>m</sup> ,406

Le fait que tous les volumes de la seconde ligne sont supérieurs à 2<sup>m</sup>,83 s'explique parfaitement par une double circonstance : la première, que les dimensions des navires, bases du calcul, sont prises hors œuvre, tandis que les volumes ci-dessus

---

(1) Nous avons, en 1893, entretenu la Société de cette question dans un travail portant le titre : *Du Trafic commercial maritime dans ses rapports avec le tonnage de jauge des navires transporteurs*. Nous ne croyons pas devoir nous y étendre ici.

sont des volumes intérieurs ; la seconde, qui a plus d'importance, que les *façons* du navire à l'avant, surtout à l'arrière, et même transversalement, réduisent notablement son volume, calculé comme s'il était rigoureusement un parallépipède rectangulaire.

L'écart mis en évidence ne nous semble même pas assez fort. La marche progressive des nombres de la seconde ligne est plutôt descendante qu'ascendante. C'est le contraire qui paraît rationnel. Les formes des navires grand marcheurs s'affinent de plus en plus. Le chiffre de 4 mètres par tonneau de tonnage brut nous paraît celui vers lequel il y a lieu de converger ; et, sur ce point, nous sommes d'accord avec M. Corthell, qui a même été plus loin, car le produit de ses trois dimensions, mis en rapport avec son tonnage de 30 000 tonneaux, fait ressortir un chiffre de 4<sup>m</sup>,06 :

Quant à nous, il est naturel que nos dimensions réduites nous conduisent beaucoup au-dessous de lui. Avec la *longueur* 240 mètres, la *largeur* 24 mètres et le *creux* 12<sup>m</sup>,50, nous avons, pour produit, 72 000 mètres qui, divisés par 4, nous donnent 18 000 *tonneaux*. Ce chiffre est assez peu différent des nôtres, déduits directement de l'évolution du 6<sup>e</sup> cas, pour que nous le considérions comme parfaitement justifié. Et 18 000 tonneaux est un nombre assez colossal pour satisfaire l'imagination la plus hardie. On se rappelle l'apparition du *Great-Western*, qui fit, en son temps, tant de bruit, puis vécut et mourut assez piteusement. Cet exemple n'a pas effrayé nos voisins. Il paraît que les chantiers de Belfast viennent, récemment, de mettre à flot un colosse marin plus grand encore. Son tirant d'eau serait de 10 mètres et sa longueur de 212 mètres. Le siècle qui s'ouvre verra le sort que la mer lui réserve. Toutes les hardiesses ne sont pas bonnes. Combien d'hommes et de peuples l'apprennent à leurs dépens !

La question des dimensions vidée, les cas 5 et 7 nous amènent à la *vitesse*. C'est bien là aussi un élément de progrès du domaine économique, moins cependant pour les marchandises que pour les voyageurs. Pour tous deux, la rapidité du parcours est un avantage au point de vue de la dépense de l'équipage et de l'intérêt du capital employé. Pour les voyageurs, s'y ajoute, outre la satisfaction qu'ils en ressentent et qui achalande le navire, l'économie réalisée sur les frais qu'ils occasionnent. Tous ces avantages peuvent être plus que compensés par l'exagération de la dépense de combustible. On n'est pas encore entièrement fixé sur le rapport suivant lequel la résistance de l'eau croît avec la vitesse des corps flottants. Cette incertitude tient, pour une part, à la forme variable des parties plongées de ceux-ci et aux différences entre leurs dimensions relatives, ce qui rend la solution difficile. On a longtemps cru que cette résistance croissait comme le carré de la vitesse. Des observations récentes tendraient à prouver que c'est plutôt de la 3<sup>e</sup> puissance qu'il faudrait parler. Pour une accélération de  $\frac{1}{10}$ , la dépense en charbon croîtrait de  $\frac{1}{3}$  ; pour une accélération de  $\frac{1}{4}$ , elle doublerait presque. Pour une vitesse double, elle serait 8 fois plus grande et le deviendrait 27 fois pour une vitesse triple. De là, pour les plus hardis, un motif de modération, ainsi que nous allons voir.

Voici, pour les deux cas : vitesse des plus grands navires connus (5<sup>e</sup> cas) ; vitesse connue des navires les plus rapides (7<sup>e</sup> cas), le tableau de nos prévisions (moyennes des solutions de chaque procédé), mises en rapport avec celles de M. Corthell.

	Cas n° 5.	Cas n° 7.
	Nœuds.	Nœuds.
M. Corthell . . . . .	24,00	30,00
1 <sup>er</sup> procédé . . . . .	27,10	34,30
2 <sup>e</sup> procédé . . . . .	26,70	34,30

L'unité est le nœud, qui représente une vitesse de 0<sup>m</sup>,5144 par seconde, ce qui correspond par heure à 1851<sup>m</sup>,85. Les nombres ci-dessus nous placent entre des vitesses de 44 à 64 kilomètres à l'heure. Sur terre, c'est un jeu pour la locomotive et l'on trouve que ce n'est pas assez, — quand on ne se rompt pas les membres. Sur la mer, c'est effrayant.

Pour le cas 5, l'accélération totale de la période jalonnée est de 8<sup>m</sup>,8, ce qui, en 1948, amènerait à 26<sup>n</sup>,8, vitesse à peu près conforme à nos résultats; mais, après une accélération assez lente d'abord, et un coup de fouet entre 1873 et 1891, l'augmentation de vitesse annuelle n'a été, en moyenne, dans les sept dernières années, que de 0<sup>m</sup>,114; soit pour 50 ans, 5<sup>n</sup>,7; d'où, pour 1948, 23<sup>n</sup>,7, chiffre un peu inférieur à celui de M. Corthell, qui a sagement raisonné. Sauf exceptions rares, sa limite de 24 nœuds ne sera certainement pas dépassée.

Quant au cas 7, la marche de l'accélération constatée a été toute différente. Très forte de 1848 à 1873, elle s'est réduite à moins de moitié dans les dix-huit années suivantes, pour prendre du revif, comme disent les marins, dans les sept dernières années. Au taux de cette courte période, l'accélération en 50 ans serait de 14<sup>n</sup>,3, — ce qui conduirait, en 1948, à 36<sup>n</sup>,3, et explique ce qu'ont donné nos procédés. En s'arrêtant à 30 nœuds, près de 56 kilomètres à l'heure, M. Corthell a été aussi loin qu'il est possible d'aller raisonnablement. On tâchera peut-être de faire des engins de guerre qui, par à-coups, puissent dépasser cette limite. Le commerce ne l'atteindra certainement pas comme allure courante.

Il nous reste, après cela, bien peu à dire du cas 8, relatif au nombre de *bassins de radoub*, excédant 152 mètres de longueur, qui existeraient en 1948. Si la longueur des navires continue à augmenter, il faudra bien qu'on fasse des bassins plus longs, et 152 mètres deviendra une dimension très insuffisante. Le problème n'arrêtera pas les constructeurs hydrauliques : l'obstacle à vaincre est d'ailleurs beaucoup moins dans la longueur que dans la profondeur. Mais les dépenses seront formidables. L'enquête de M. Corthell, relative à ce cas, ne porte que sur une période de 17 ans. C'est une base bien courte. Le dernier nombre jalonné est 75. L'augmentation numérique, plus rapide dans les dix premières années, s'est ralentie dans les sept dernières. Au taux moyen, en 50 ans, le nombre augmenterait de 153, c'est très approximativement ce que nous donnent nos procédés.

Si, au lieu du taux moyen d'accroissement, on prenait le taux extrême qui est de 2,3 par an et donnerait, en 50 ans, 121, on arriverait encore à 196.

M. Corthell a cru devoir s'arrêter à 176. Il n'existe pas de bases sérieuses pour rien objecter à cet acte de prudence, et nous nous y rattachons.

### 2<sup>e</sup> groupe, comprenant les 6 cas, de 9 à 14.

Il ne s'agit plus, ici, de dimensions et d'aptitudes se rapportant individuellement aux appareils flottants : mais de l'ensemble de ces appareils composant la flotte du monde, sous les deux modes de propulsion : la voile et la vapeur. Pour chacun de

ces modes, notre auteur a scruté le nombre des navires, leur tonnage total et la capacité moyenne probable de chacun.

Nous commencerons par la voile, qui comprend les cas de 9 à 11, dont la puissance décroît, et pour laquelle la période jalonnée n'a que 25 ans de durée.

Ici, pour le nombre et le tonnage total, nos procédés prévisionnels, gouvernés par les faits constatés, conduisent, dans leur rigidité, à des résultats négatifs, absolument inadmissibles dans l'espèce, et différant naturellement de ceux auxquels s'est arrêté M. Corthell.

Voici le tableau comparatif analogue à ceux déjà présentés, auquel, pour ces trois cas, les résultats de nos procédés conduisent :

	9 <sup>e</sup> cas.	10 <sup>e</sup> cas.	11 <sup>e</sup> cas.
M. Corthell . . . . .	10 800	3 <sup>m</sup> ,240	300 <sup>r</sup> ,00
1 <sup>er</sup> procédé . . . . .	— 26 503	— 1 ,731	418 ,85
2 <sup>e</sup> procédé. . . . .	— 24 960	— 1 ,410	412 ,00

Pour le 9<sup>e</sup> cas, correspondant au nombre des navires à voiles, il y a eu, en 25 ans, une réduction de 26 966 unités, ce qui, au prorata, en entraînerait, en 50 ans, une de 53 932 ; et, comme il n'en existait plus, en 1898, que 29 315, le nombre restant à la fin du cinquantenaire à parcourir serait, arithmétiquement, tombé, beaucoup au-dessous de zéro. De là, les résultats négatifs accusés par nos procédés, ce qui ne peut être interprété qu'en un sens : c'est que les navires à voiles auraient complètement disparu plus ou moins longtemps avant 1948. M. Corthell a pensé qu'il n'en pouvait être ainsi. Il a admis que le déchet annuel qui, dans les sept dernières années jalonnées, est descendu à 652 unités s'abaisserait encore ; et, le réduisant, par appréciation, à 370 environ, il en a conclu à une réduction totale ne dépassant pas 18 500 ; d'où son chiffre restant de 10 800. Le raisonnement peut être juste, mais il est absolument en dehors de bases puisées dans les faits constatés, et n'a qu'une valeur de pure estimation de sentiment, où les procédés prévisionnels normaux n'ont rien à faire.

Ce que nous venons de dire du cas n° 9 s'applique au cas n° 10. De même que nous avons, en présence de nombres négatifs d'unités, des tonnages négatifs, il est logique que M. Corthell ait, lui, des tonnages positifs en face d'un nombre réel de navires subsistants, et il s'est arrangé pour cela. Mais son chiffre de pure appréciation, comme celui du cas précédent, ne résulte nullement des constatations faites. D'après celles-ci, le tonnage à voiles a perdu, en moyenne, chaque année, près de 212 000 tonneaux (211 644), et, dans les sept dernières années, cette perte, supérieure à la moyenne, a dépassé un peu 235 000 tonneaux. Or, M. Corthell, pour arriver au chiffre auquel il s'arrête, suppose que, dans le cinquantenaire à parcourir, le déchet moyen annuel excédera à peine 113 000 tonneaux. L'appréciation peut n'être pas déraisonnable. Mais rien de précis, puisé dans les faits relevés, ne la justifie.

Quant au cas n° 11, qui se rapporte au tonnage individuel moyen des navires à voiles, l'évolution de capacité de ces navires, sans être indépendante des deux cas précédents, a cependant son mouvement propre. On peut, en recourant au tableau (A) [1], s'assurer de deux faits, à savoir : en premier lieu, que, dans la période jalon-

---

(1) Voir numéro de septembre, p 313.

née, le produit du nombre de navires par leur tonnage individuel reproduit exactement le tonnage total accusé, — ce qui doit être, mais nous confirme néanmoins dans la pensée que les chiffres ont été remaniés dans une certaine mesure; en second lieu, que, malgré le discrédit continu de la voile, le tonnage individuel moyen des navires qui la représentent va croissant, — ce qui est tout à fait naturel. C'est seulement dans les sept dernières années qu'il y aurait eu un fléchissement léger, de 311 tonneaux à 303. Quoi qu'il en soit de ce fait un peu suspect, M. Corthell a cru devoir admettre, à la fin du cinquantenaire à parcourir, un tonnage individuel moyen un peu inférieur au dernier constaté. Nous pensons, ici, qu'il a eu tort. D'abord, pour cadrer avec les chiffres conservés par lui pour le nombre de navires et leur tonnage total en 1948, il faudrait qu'à cette date le tonnage individuel moyen de chacun d'eux fût de 333 tonneaux au lieu de 300; et nous pensons que l'un ou l'autre de ces nombres approche moins de la vérité que les moyennes 418,85 et 412 déduites par nos procédés des faits jalonnés. Nous nous arrêterons, en conséquence, au nombre rond 400. Seulement, en admettant, sans le discuter, pour le tonnage total, le chiffre de 3 240 000 de M. Corthell, nous réduirons le nombre des navires à voiles subsistants, en 1948, à  $8\,100 = \frac{3\,240\,000}{400}$ .

Les prévisions relatives à la flotte commerciale à vapeur qui nous restent à examiner se résument dans le tableau ci-après formé de la même façon que les précédents :

	12 <sup>e</sup> cas.	13 <sup>e</sup> cas.	14 <sup>e</sup> cas.
M. Corthell . . . .	16 685	45 <sup>nr</sup> ,000	2 700 <sup>r</sup> ,0
1 <sup>er</sup> procédé . . . .	23 594	44 ,344	3 027 ,5
2 <sup>e</sup> procédé. . . . .	23 429	44 ,450	3 066 ,5

Un avertissement est toutefois ici nécessaire.

Ainsi que le signale l'observation (a) du tableau (B), on obtient, pour les trois cas ci-dessus, des résultats différents suivant qu'on prend pour base de prévision toute la série des données à partir de 1848, ou seulement la seconde moitié de la période, mieux jalonnée, à partir de 1873. Ce sont ces derniers résultats, paraissant mériter plus de confiance, dont les moyennes sont reproduites ci-dessus.

Ceci expliqué, nous paraissions, en ce qui concerne le 13<sup>e</sup> cas, tonnage total de la flotte à vapeur, en concordance à peu près parfaite avec M. Corthell. L'analyse de la question va nous en éloigner beaucoup, au contraire.

Les trois éléments, auxquels les cas ci-dessus se rapportent, ont, entre eux, une relation nécessaire en ce sens que le produit du nombre d'unités flottantes, que fournit le 12<sup>e</sup> cas, par le tonnage moyen individuel de ces unités, que fournit le 14<sup>e</sup>, doit donner le nombre correspondant au 13<sup>e</sup> cas, et c'est une condition à laquelle satisfont aussi bien les faits enregistrés au tableau (A) que les prévisions elles-mêmes de M. Corthell. Mais cette concordance ne suffit pas pour prouver qu'on a bien raisonné

- Ce qui est en jeu, dans l'espèce, ce ne sont pas le nombre et le tonnage moyen des unités, mais le tonnage total représentant la capacité des moyens de transport nécessaires pour satisfaire aux besoins du monde, et le seul obstacle qui pourrait

s'opposer ici à ce que ces moyens reçussent toute l'amplitude voulue, ce serait l'impuissance de l'industrie universelle à y satisfaire, impuissance bien peu probable d'après la marche des choses. Les règles présidant à la prévision sont, dès lors, dans l'espèce, bien différentes de celles discutées à propos du 1<sup>er</sup> groupe; et ce que nous avons à nous demander, pour arriver à une solution juste, c'est comment croîtront, dans l'avenir, les besoins d'échange auxquels doit satisfaire la flotte commerciale du monde entier.

C'est ce que nous allons rechercher, en tenant compte, pour conclure quant aux navires à vapeur, du peu qui restera de navires à voiles.

Dans cette recherche, nous admettons, comme le fait notre auteur, qu'un tonneau de navire à vapeur représente la capacité effective de transport de 3 tonneaux de navire à voiles et, cela posé, voici, d'après les chiffres inscrits au tableau (A), pour les deux marines, quel a été, *en tonneaux de vapeur*, durant la période jalonée, de 1873 à 1898, le tonnage total effectif offert aux besoins du commerce, tonnage exprimé en millions de tonneaux (MT) :

1873.	1881.	1891.	1898.
9 <sup>MT</sup> ,157	11 <sup>MT</sup> ,371	16 <sup>MT</sup> ,339	20 <sup>MT</sup> 854

Dans cette période de 25 ans, le tonnage disponible a donc augmenté dans le rapport de  $\frac{20\ 854}{9\ 157} = 2,28$  environ (valeur plus approchée : 2 274); ce à quoi correspond, en mode composé, un accroissement annuel de à très peu près 3,3 p. 100, lequel, au lieu des tonnages constatés, eût donné, en 1881 et 1891, ceux très peu différents de 11<sup>MT</sup>,904 et 16<sup>MT</sup>,519.

Cette loi d'accroissement est donc bien manifeste. Va-t-elle se maintenir dans le premier cinquantenaire du xx<sup>e</sup> siècle? A voir la fièvre productrice et consummatrice qui secoue le monde; en songeant que des éléments de trafic de plus en plus bas prix s'échangent d'une zone à l'autre, à mesure que les frais de transport s'abaissent, en tenant compte enfin de l'augmentation sans cesse croissante du nombre de consommateurs par l'ascension naturelle de la population du globe, il est permis de penser que le mouvement continuera, s'il ne s'accélère.

Admettons toutefois que la loi de progression se ralentisse légèrement et s'abaisse à 3 p. 100 juste. A ce taux, en 1948, le tonnage total, plus que quadruplé par rapport à ce qu'il était en 1898, atteindrait l'énorme valeur de 91<sup>MT</sup>,488, et, en décomptant le tiers du tonnage voilier conservé par M. Corthell, soit 1<sup>MT</sup>,080, laisserait à la marine à vapeur un tonnage dépassant 90 millions de tonneaux (1), au lieu des 45 millions seulement que notre auteur lui a attribués, et que nos procédés, inapplicables dans l'espèce, paraissent confirmer.

Le taux prévisionnel du cas n° 13 réglé, revenons aux deux autres qui y sont liés.

Pour le cas n° 14, nos prévisions ne dépassent guère 3 000<sup>r</sup>. Mais il est à remarquer (tableau A) que l'ascension du tonnage moyen des navires s'accélère for-

(1) Pour obtenir ce tonnage. M. Corthell a simplement ajouté aux 17<sup>MT</sup>,889 de 1898, le double, 27<sup>MT</sup>,122, de l'augmentation constatée, en 25 ans, depuis 1873. Pour arriver à obtenir ce résultat par la loi de progression par quotient, il faudrait que la raison de celle-ci s'abaissât à 1,86 p. 100.

tement. Du milieu des huit premières années de la période de 25 ans, de 1873 à 1898, au milieu des sept dernières années de ladite période, c'est-à-dire en 17 ans et demi, l'accroissement moyen annuel passe de 26<sup>r</sup>,75 à 36<sup>r</sup>,58. A ce dernier taux, l'augmentation en 50 ans serait de 1 829<sup>r</sup>, ce qui porterait, en 1948, le moyen tonnage unitaire à 3 416<sup>r</sup>. Mais ce mouvement de croissance naturel, n'ayant aucun obstacle qui l'arrête, augmentera plutôt de vitesse, et nous pouvons considérer 4 000<sup>r</sup>, comme moyenne unitaire probable en 1948, d'où, pour le cas n° 12, un nombre corrélatif de 22 500 unités, dont se rapprochent beaucoup nos résultats.

Nous avons, précédemment, à propos du cas n° 6, limité à 18 000 le tonnage des plus grands navires commerciaux fonctionnant en 1948. La flotte du monde serait donc, quant à la propulsion mécanique, ainsi composée : nombre d'unités, 22 500 ; tonnage unitaire moyen, 4 000 ; tonnage unitaire maximum, 18 000 ; tonnage total, 90 000 000. En supposant que le plus faible tonnage fût de 500 tonneaux, le tonnage excédant, dont la moyenne serait 3 500<sup>r</sup>, et la limite supérieure 17 500<sup>r</sup>, c'est-à-dire 5 fois plus considérable, se répartirait, à partir de 500, suivant les ordonnées d'une courbe du 6° degré de la forme :

$$x^6 = py,$$

ayant pour valeur du paramètre  $p$  un nombre de 22 chiffres, dont les six premiers sont : 741 373.

On déduit de cette équation que la flotte du monde se composerait, pour plus des  $\frac{3}{4}$  en nombre (76,5 p. 100), de navires de 500 à 4 000 tonneaux, constituant un peu plus de  $\frac{1}{4}$  (26 p. 100) de la capacité totale, et, pour le reste, en nombre (23,5 p. 100), de navires de 4 000 à 18 000 tonneaux, formant le complément (74 p. 100) de la capacité totale. Dans le nombre, il y aurait, d'après la formule, 220 colosses cubant de 17 000 à 18 000 tonneaux.

### 3° groupe, comprenant les cas n° 15, 16 et 17.

Le premier de ces cas nous met en présence de la question que nous avons dû traiter, à propos du cas n° 13. Nous ne la reprendrons pas. Quant à ceux donnés par notre auteur, dont le premier, celui de 1848, est pour nous invérifiable, ils sont exprimés en tonneaux de voilier, au lieu de l'être en tonneaux de navire à vapeur, ainsi que nous l'avons fait au cas n° 13, ce qui, d'après la convention proposée, admise par nous, leur donne des valeurs triples de celles qui, pour ce dernier cas, nous ont servi de base. Dans ces conditions, les nombres correspondants concordent, de chaque côté, avec de minimes différences.

Comme prévision pour 1948, M. Corthell arrive au chiffre de 138 millions de tonneaux, en ajoutant au triple de ses 45 millions de tonneaux de vapeur ses 3 millions environ de tonneaux de voiliers.

Quant à nous, notre conclusion reste la même que ci-dessus, ce qui, en *tonneaux de voilier*, nous donne :

$$\text{Voile : } 3^{\text{nr}} + \text{vapeur : } 90^{\text{nr}} \times 3 = 273^{\text{nr}},$$

chiffre à très peu près double de celui de M. Corthell.

Le cas n° 16, auquel nous passons, nous place en face d'une question qui a un rapport étroit avec la précédente tout en en différant par un côté. Il ne s'agit plus de la capacité disponible, mais de la façon dont cette capacité est utilisée pour le transport effectif des marchandises. Les deux cas sont jalonnés pour des périodes différentes. En comblant, par interpolation, les lacunes que chacune d'elles présente, on arrive au tableau comparatif ci-dessous (1) :

	1848.	1860.	1873.	1880.	1881.	1891.	1893.	1898.
Cas 15. Tonneaux disponibles (a).	16 <sup>m</sup> ,50	<i>21<sup>m</sup>,62</i>	27 <sup>m</sup> ,17	<i>33<sup>m</sup>,42</i>	34 <sup>m</sup> ,11	49 <sup>m</sup> ,02	<i>53<sup>m</sup>,49</i>	62 <sup>m</sup> ,50
Cas 16. Tonnes de poids transportées . . . . .	261,5	441,5	891,0	1131,0	1171,9	1671,1	1761,5	2011,0
Combien de tonnes pour un tonneau . . . . .	11,606	21,058	31,276	31,381	31,457	31,409	31,300	31,216

(a) Les nombres sont exprimés en tonneaux de voilier, le tonneau de navire à vapeur toujours comptés pour 3.

La dernière ligne de ce petit tableau, dont les nombres expriment les rapports respectifs de ceux de la seconde à ceux de la première, présente un résultat extrêmement instructif. Elle montre que le nombre effectif de tonnes de marchandises transportées par chaque tonneau disponible a subi, de 1848 à 1880, un mouvement ascensionnel, qui s'est arrêté et a même un peu diminué depuis lors.

Il y a là un fait tout naturel, fort intéressant, mais qui demande quelques explications.

Le poids de marchandises qu'un navire transporte par an ne dépend pas seulement du poids par tonneau qu'il reçoit, lequel varie avec beaucoup de circonstances, mais aussi du nombre de fois que sa capacité de transport est utilisée dans l'année, quantité qui est elle-même fonction de la distance moyenne parcourue, du temps perdu et de la rapidité de marche du navire.

Les tonneaux disponibles qui figurent au tableau ci-dessus expriment très probablement, ainsi que nous l'avons dit, des tonneaux bruts. Eu égard aux déductions conventionnelles dont leur nombre est frappé, celui des *tonneaux légaux* ou de *jauge* est moindre dans un certain rapport, difficile à déterminer, eu égard aux dissidences qui existent encore entre les divers pays et suivant le mode de procéder.

Quel que soit ce rapport, cela importe assez peu dans l'espèce, puisqu'il n'en résulterait qu'une chose, c'est l'augmentation, réciproquement inverse, de la valeur des nombres de la troisième ligne, dont la loi d'accroissement subsisterait.

Un tonneau de jauge représente, métriquement, avons-nous dit, un volume de 2<sup>m</sup><sup>3</sup>,83. Pour chaque tonneau, un navire peut recevoir, suivant la nature du chargement, un poids plus ou moins grand de marchandises (2). Ce poids qui pourrait,

(1) Les nombres en *italiques* sont ceux interpolés. Quant aux nombres empruntés à l'auteur pour le cas 15, ceux de 1873, 1881 et 1891 ont été légèrement corrigés d'après les indications des cas n°s 10 et 13.

(2) Voir, à ce sujet, notre étude : *Du Trafic commercial maritime dans ses rapports avec le tonnage de jauge des navires transporteurs* (*Journal de la Société de statistique de Paris*, numéro de juillet 1893).



normalement, s'élever, à pleine charge, à 1<sup>t</sup>,8, peut atteindre, exceptionnellement, le chiffre de 3 tonnes par tonneau, et quelques ports français en fournissent des exemples. Pour l'ensemble de ces ports, dans la totalité d'une période décennale, 1<sup>t</sup>,5 est un chiffre extrême et 0<sup>t</sup>,66 un chiffre moyen, constaté de 1857 à 1886, et qui va plutôt en s'abaissant qu'en augmentant. A quoi ce fait de réduction tient-il ? A beaucoup de causes. Les navires importateurs les plus favorisés voyagent rarement à pleine charge. Beaucoup de contrées n'offrent à ces navires que des frets de retour insuffisants. Beaucoup de chargements ne s'effectuent que par escales, et l'activité même du commerce, aiguillonnée par la concurrence, fait que les navires se contentent de charges réduites.

Quoi qu'il en soit de tous ces points, et quelles que soient les causes de l'amélioration, il n'en résulte pas moins, d'après les faits constatés, que la capacité des navires est de mieux en mieux utilisée; que cette utilisation s'est bonifiée, dans le cinquantenaire jalonné, selon une proportion allant plus que du simple au double, et que, suivant ce qui se passe depuis 1881, on peut fixer cette moyenne à 3<sup>t</sup>,352 (1) par tonneau brut des navires. La seule question qui reste à discuter est celle de savoir si cette proportion est de nature à croître ou à diminuer.

M. Corthell qui, pour le cas n° 15, s'est arrêté, en 1948, au chiffre de 138 millions de tonneaux de voilier, a fixé celui du cas n° 16 à 435 millions de tonnes, ce qui implique un rapport un peu supérieur à 3<sup>t</sup>,22 par tonneau. Il suppose donc un léger mouvement d'abaissement. Nous admettons sans difficulté qu'il soit dans le vrai, et fixerons même le coefficient d'utilisation au chiffre de 3<sup>t</sup> seulement par tonneau de voilier, ce qui donne 9<sup>t</sup> par tonneau de vapeur.

Dans ces conditions, d'après nos conclusions relatives au cas n° 15, nous donnant, nombre rond, 273 millions de tonneaux de voilier, nous arrivons, pour le cas n° 16; au chiffre énorme de 819, soit en nombre rond 820 millions de tonnes, à peu près double (exactement 1 885) de celui de M. Corthell.

Où est la vérité ? Dans 50 ans, nos arrière-neveux le sauront (2).

Le cas n° 17, qui nous reste à examiner, n'a pas le caractère tout à fait général des précédents. Il a trait à la valeur des exportations combinées des dix principales puissances du monde, et le texte anglais nous apprend que ses chiffres sont empruntés, pour les 46 années de 1850 à 1896, à un rapport de M. Jules Roche, prolongé des deux bouts par M. Corthell.

L'étendue circonscrite de ce cas lui enlève une part de son intérêt. Et quelle méthode adopter ici pour l'extension prévisionnelle ? Les puissances auxquelles les chiffres se rapportent sont des individualités dont la prospérité peut s'accroître ou fléchir. L'extension que leur exportation peut recevoir se rattache, pour une part,

---

(1) La moyenne composée s'élèverait à 3<sup>t</sup>,375.

(2) Dans un de ses importants travaux sur le mouvement de la navigation, rappelé dans notre étude ci-dessus visée de 1893, notre éminent collègue, M. Kier, s'inquiétait d'avoir des renseignements exacts sur les transports *réellement effectués*. Les chiffres du cas 16, sur lesquels nous venons de spéculer, sans en garantir l'exactitude, proviennent, pour partie, d'un ouvrage de M. Mullhall (*Industries and Wealth of nations*), étendus, de 1893 à 1898, par M. Corthell. Ces chiffres touchent au desideratum de M. Kier, mais ne le satisfont peut-être pas. Si les nombres de la période jalonnée étaient modifiés, nos conclusions numériques s'en ressentiraient, ce qui n'en laisserait pas moins subsister, au moins dans une certaine mesure, la valeur de nos raisonnements.

à la loi de progressivité applicable aux cas n<sup>os</sup> 13 et 15; mais elle peut aussi être soumise à des circonstances restrictives, lesquelles, quoique d'un genre différent, peuvent produire des effets analogues à celles qui s'opposent à la croissance indéfinie des dimensions des navires

Ce cas nous semble donc pouvoir rentrer dans l'orbite de nos procédés prévisionnels qui nous conduisent à des chiffres dont les solutions, variables, en francs, de 62,82 billions à 65,40 billions ont, pour moyenne, 63,54 billions, nombre très peu différent des termes extrêmes.

M. Corthell, lui, a adopté le chiffre de 54,20 billions qui paraît, au premier abord, peu justifié. Toutefois, en examinant les choses de plus près, on constate que le mouvement d'ascension du trafic de ces dix puissances s'est notablement ralenti dans les dernières années de la période. Après avoir passé par les ascensions annuelles qu'expriment en millions de francs les nombres : 362, 662, 739, 650, ces ascensions sont tombées, dans les huit dernières années, à 270 et 272; le tout se résumant en une ascension moyenne de 542 millions.

A ce dernier taux, le croît serait, en 50 ans, de 27,10 billions. Au taux de 272, il serait seulement de 13,60 billions. M. Corthell a, par appréciation, fixé ce croît à 18,43 billions qui constitue à peu près une moyenne. Nous ne voyons pas de motif sérieux pour nous écarter de cette appréciation.

## VI.

Les chiffres prévisionnels que nous avons admis au cours de la discussion qui précède ont été portés à la colonne 12 du tableau (B).

Sur les 17 prévisions, celles relatives aux cas n<sup>os</sup> 13, 15 et 16, qui diffèrent fortement du résultat déduit des procédés proposés, ont été obtenues par une autre voie. D'après la marche des faits, et eu égard aux considérations que nous avons développées, nous avons cru pouvoir, dans l'espèce, faire appel à la loi progressive des intérêts composés. Cela fût-il, en principe, reconnu parfaitement admissible que l'application n'en est pas moins largement soumise à l'appréciation puisque le croît total, au bout d'une période un peu longue, varie considérablement avec la raison attribuée à la progression, raison qui, pour les faits à venir, peut différer notablement de celle qui a présidé à l'évolution dans le passé.

Indépendamment de ce qui précède, pour les cas n<sup>os</sup> 8 et 17, nous avons admis, eu égard à l'insuffisance des bases d'une discussion approfondie, les chiffres de M. Corthell, ce qui, pour le cas n<sup>o</sup> 8 surtout, nous donne un nombre s'écartant notablement des résultats prévisionnels déduits des procédés proposés. Enfin, pour les cas n<sup>os</sup> 9 et 10, nos procédés, qui nous conduisaient, logiquement, à des solutions négatives, inadmissibles dans l'espèce, ont dû faire place à des appréciations de pur sentiment.

Il ne nous reste donc, à proprement parler, que 10 cas auxquels les procédés proposés se soient appliqués normalement, et encore pourrions-nous dire que les prévisions admises par les cas n<sup>os</sup> 12 et 14, avec écart considérable pour ce dernier, ont subi l'influence du système progressif adopté par le cas n<sup>o</sup> 13, ce qui autoriserait à les écarter.

Toutefois, en acceptant de les comprendre dans la comparaison et en prenant

pour base de celle-ci les rapports des chiffres admis et de ceux donnés par le 1<sup>er</sup> procédé, solution  $a$ , on trouve que, de ces dix rapports, un seul, celui relatif au cas n° 14, visé ci-dessus comme exceptionnel, supérieur à l'unité, a pour expression 1,332, et que les neuf autres, inférieurs à l'unité, dont le plus faible est 0,822 (cas n° 3) et le plus fort 0,988 (cas n° 2), ont une valeur moyenne égale à 0,916, ce à quoi correspond un écart moyen moindre de un dixième.

Et, si, au lieu de prendre pour base de la comparaison la solution  $a$ , on y substituait la solution  $c$ , consistant à prolonger simplement la droite passant par les observations extrêmes, les résultats ne présenteraient pas une différence notable avec ceux qui précèdent. Le rapport relatif au cas n° 14, toujours supérieur à l'unité, deviendrait 1,299 au lieu de 1,332, et la moyenne des neuf autres — dont le plus faible est 0,764 (cas n° 3) et le plus fort (cas n° 11) — prend pour expression 0,894, ce qui implique un écart à peine supérieur à un dixième.

Que conclure de ces rapprochements ?

C'est que, s'il existait un moyen d'établir que nos prévisions sont exactes, du même coup serait démontrée l'utilité de nos procédés linéaires, lesquels conduisent vers ces prévisions avec une approximation aussi satisfaisante que celle dont nous venons d'indiquer la mesure.

Malheureusement, ce moyen n'existe pas. Nous pouvons nous rendre compte à l'avance que le problème posé resterait frappé d'incertitude. Savoir ne permet de prévoir que lorsque la loi du phénomène observé est parfaitement connue. Et il se passera longtemps avant qu'on puisse, dans le domaine de la statistique, formuler, pour l'avenir, autre chose que des présomptions.

Quant aux moyens d'arriver à celles-ci, la lice reste ouverte aux recherches, et nous ne nous figurons pas, loin de là, l'avoir parcourue tout entière. S'il subsiste quelque chose de notre tentative, ce ne peut être — le résultat est modeste — que ceci, c'est que, mis à part les phénomènes que leur nature permet de considérer comme se développant librement suivant la loi évolutrice d'une progression par quotient, analogue à celle qui, normalement, préside au développement de la population, la solution doit être cherchée à l'aide du prolongement purement linéaire des indications fournies par les faits observés, ce à quoi nous croyons pouvoir ajouter que le plus souvent, il suffit, pour première approximation, de choisir, dans le nombre des faits connus à prolonger, le plus récent et le plus ancien d'entre eux, conformément à l'idée qui vient, à cet égard, la première à l'esprit.

Quelque minime que soit l'importance de cette conclusion *positive*, il n'y en avait pas moins quelque intérêt à la faire ressortir, au milieu de tant d'autres *négligées* auxquelles le problème nous accule. D'une façon générale, le système du prolongement linéaire déterminé par les faits accomplis correspond, numériquement, par sa nature, à la notion de progression arithmétique, et, mécaniquement, à celle d'un mobile qui, abstraction faite de son plus ou moins de vitesse, obéit à une impulsion qu'il a reçue, ou progresse sous l'action d'une force principale dirigée dans le sens de son mouvement, ce qui n'exclut pas l'intervention d'autres forces extérieures introduisant dans la direction de ce mouvement des irrégularités servant à corriger, par interprétation, ce qu'ont de trop rigide les indications de la ligne droite.

RÉSUMÉ.

En résumé, si cette trop longue élaboration d'un problème dont il ne faut pas méconnaître l'importance quant aux progrès de la statistique et quant à l'influence surtout que ces progrès peuvent exercer sur toutes les branches des arts sociologiques, ne jette pas sur la question une lumière bien vive, elle peut cependant éviter à d'autres des tentatives sans issue, en montrant ce qui suit, à savoir :

Que la statistique n'offre encore, dans la plupart des questions auxquelles ses relevés s'appliquent, aucune base certaine à l'application de procédés prévisionnels rigoureux, — fait qui n'a rien de surprenant, pour qui se rend compte des limites opposées par la nature des choses, dans le domaine des phénomènes compliqués, à l'application, si féconde, dans les sciences abstraites, des ressources de l'analyse mathématique ;

Que, néanmoins, si, pour obéir à une impulsion naturelle de l'esprit humain, on veut pénétrer dans l'avenir, et prévoir l'évolution future d'un phénomène dont le passé est connu, ce qu'il y a généralement de plus pratique, — en dehors des cas très rares auxquels peuvent s'appliquer les formules qui régissent, en finance, les intérêts composés, — c'est de recourir, conformément au principe mécanique de la conservation du mouvement rectiligne, au simple prolongement, en ligne droite, des données que l'on possède, sauf à corriger le résultat d'après l'allure qu'ont prise successivement ces données dans l'étendue de la période consacrée à l'étude du phénomène.

Et, quant aux prévisions définies que nous avons formulées à la suite de notre collègue américain, si cet écrit tombe, vers le milieu du siècle où nous entrons, sous les yeux de quelqu'un qui y prête attention, lui seul pourra dire si nous avons bien ou mal raisonné pour arriver à nos conclusions.

L.-L. VAUTHIER.

---