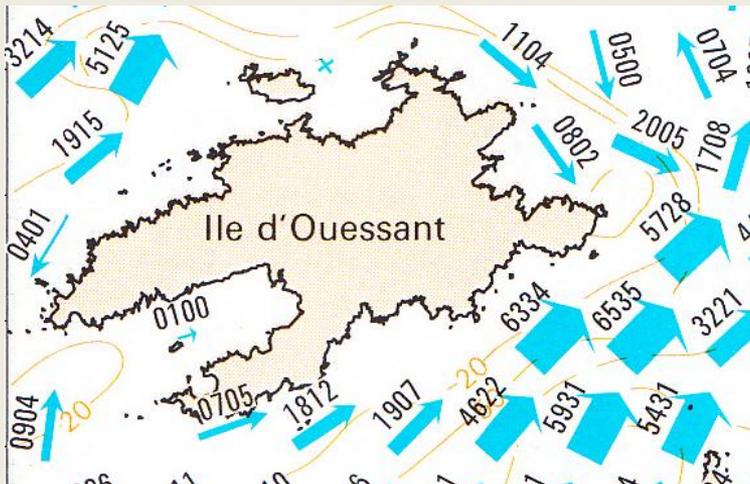


Le POTENTIEL HYDROLIEN du FROMVEUR



D'après l'ouvrage du SHOM Courants de marée côte ouest Bretagne

Le JEUDI 10 MARS à 18h
Salle des expositions ancienne Fac des Sciences
PLACE PASTEUR

CAUSERIE de André DEFRANCE
ancien enseignant-chercheur en Physique
sous l'égide de l'association
RENNES EN SCIENCES PLACE PASTEUR

L'habitude a été prise d'exprimer les capacités des dispositifs d'énergie renouvelable en puissance installée, qui est la puissance maximum que peut générer un dispositif. Souvent le contexte laisse croire qu'il s'agit de la puissance moyenne, la notion très importante de **FACTEUR DE CHARGE** est ignorée. Le cas du Raz Blanchard est flagrant, l'exagération peut dépasser un facteur 10. Le Fromveur est plus modeste, un de ses avantages est de faire tourner la seule hydrolienne française apparemment fiable, la Sabella D10. A l'aide des documents du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), on montrera comment évaluer le facteur de charge du Fromveur. On discutera, à l'aide des données pertinentes fournies par Sabella, de l'intérêt que représente l'indépendance énergétique de l'île d'Ouessant (+ Molène).

FROMVEUR

Potentiel hydrolien

et

Caractéristiques annoncées

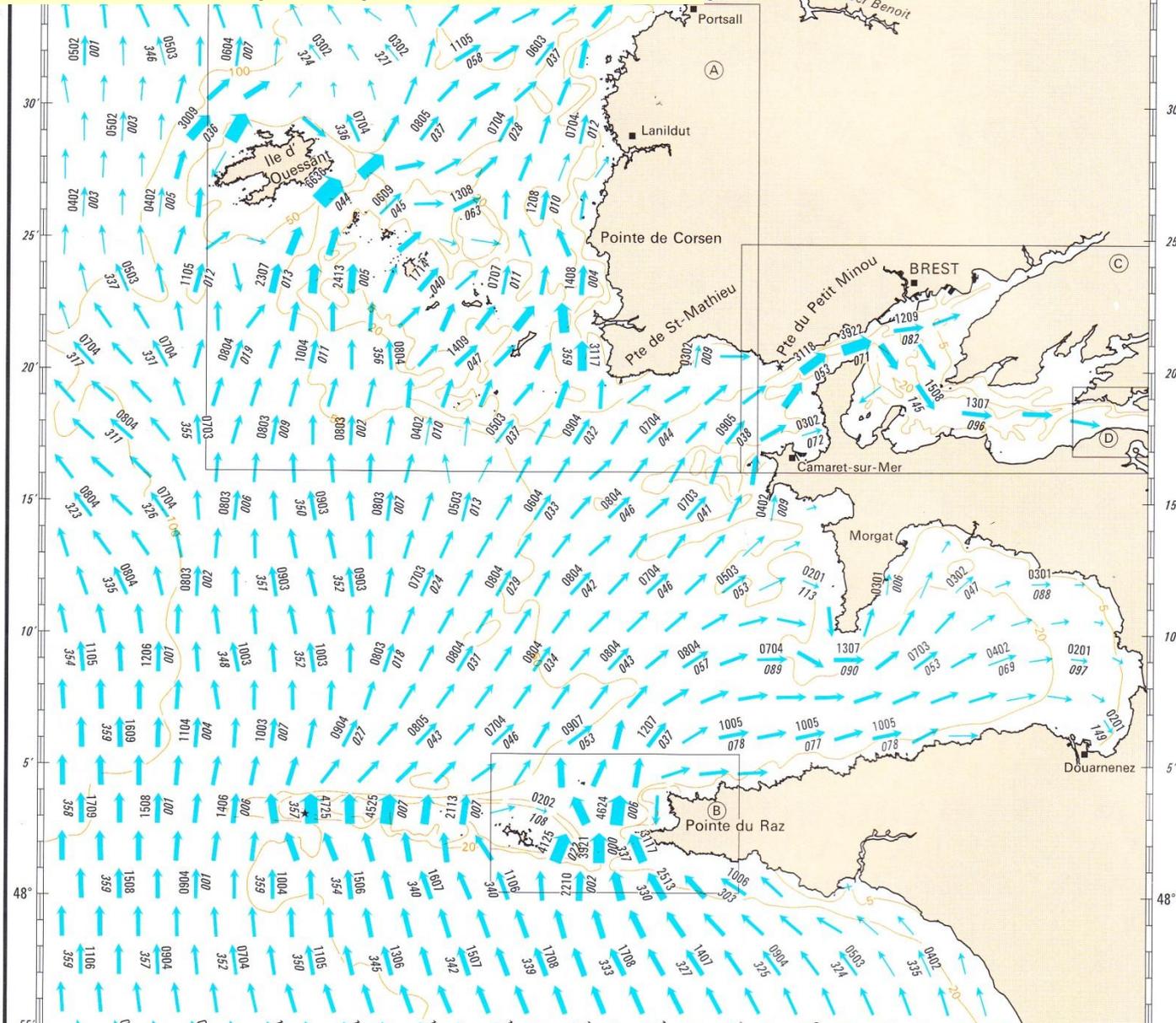
des

Hydroliennes Sabella

Courants de marée côte ouest Bretagne

4 h avant PM Brest

Service hydrographique et océanographique de la marine
(SHOM)



Energie cinétique : $E = \frac{1}{2} m v^2$ Joule J, kWh, MWh, GWh, TWh

Puissance (instantanée) : $P = \frac{dE}{dt}$ Watt W, kW, MW, GW

Puissance moyenne : $\langle P \rangle = \frac{1}{n} \sum_n P_n$

Notion de facteur de charge F : $\langle P \rangle = F_{ref} P_{ref}$

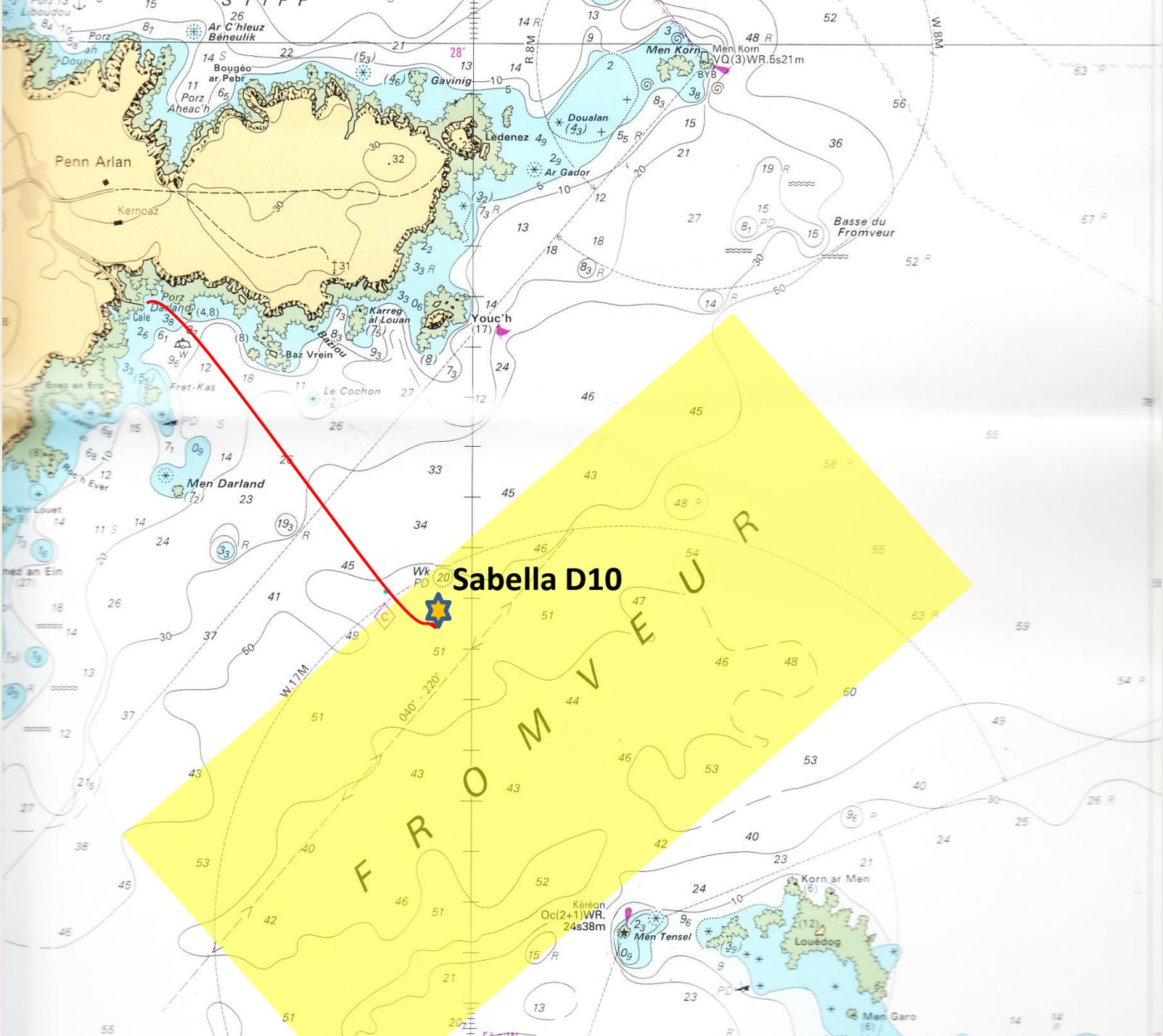
$$P = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} v^2 \quad dm = \rho S dx \quad \rho = 1025 \text{ kgm}^{-3}$$

$$P = \frac{1}{2} \rho S v^3 \quad \text{Puissance extractible} \quad P = \frac{1}{2} \rho B S v^3$$

$$B_{\text{(loi de Betz)}} = \frac{16}{27}$$

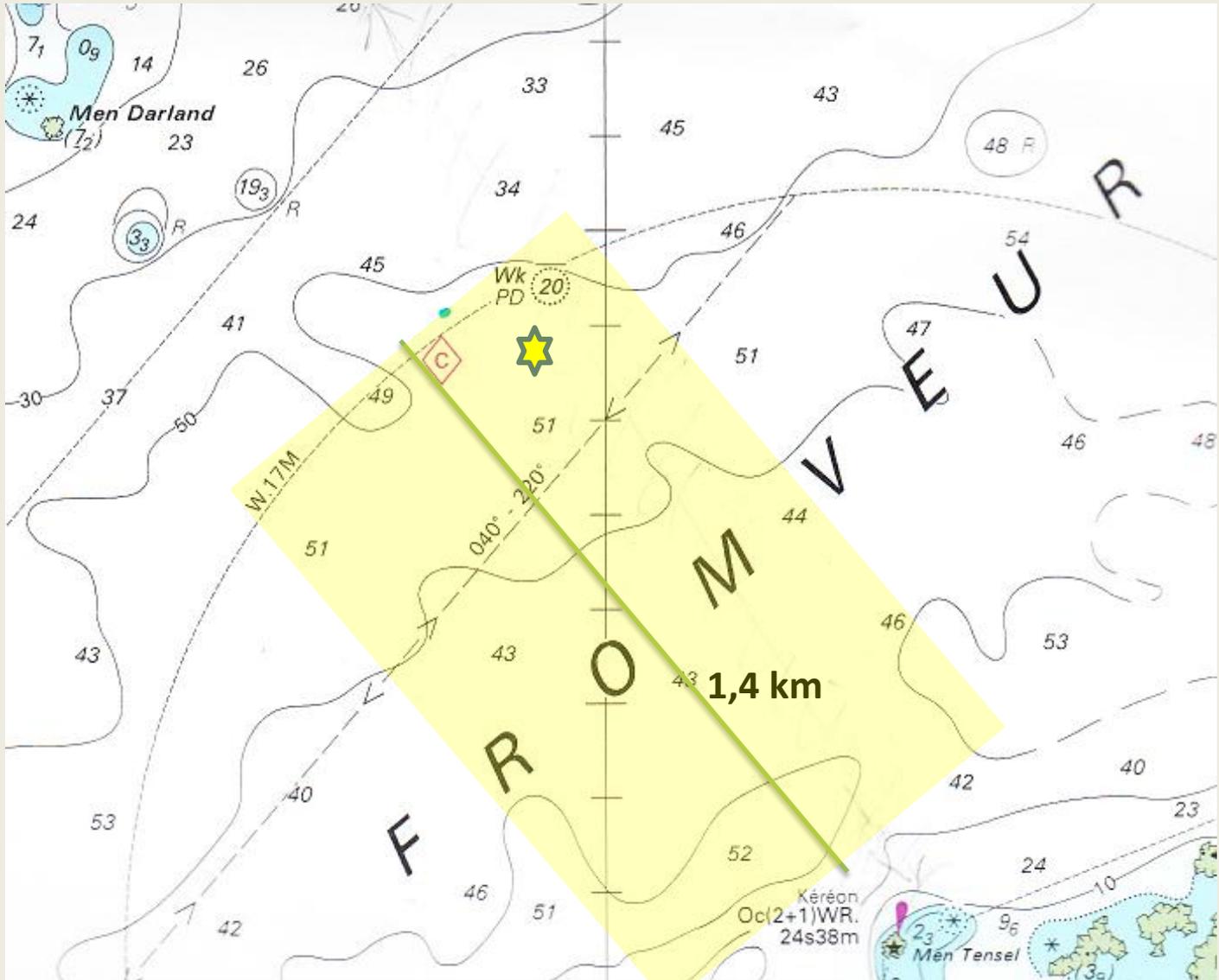
Puissance d'une hydrolienne (rendement intrinsèque R_i)

$$P = 0,3 R_i S v^3 \text{ kW}$$



Sabella D10

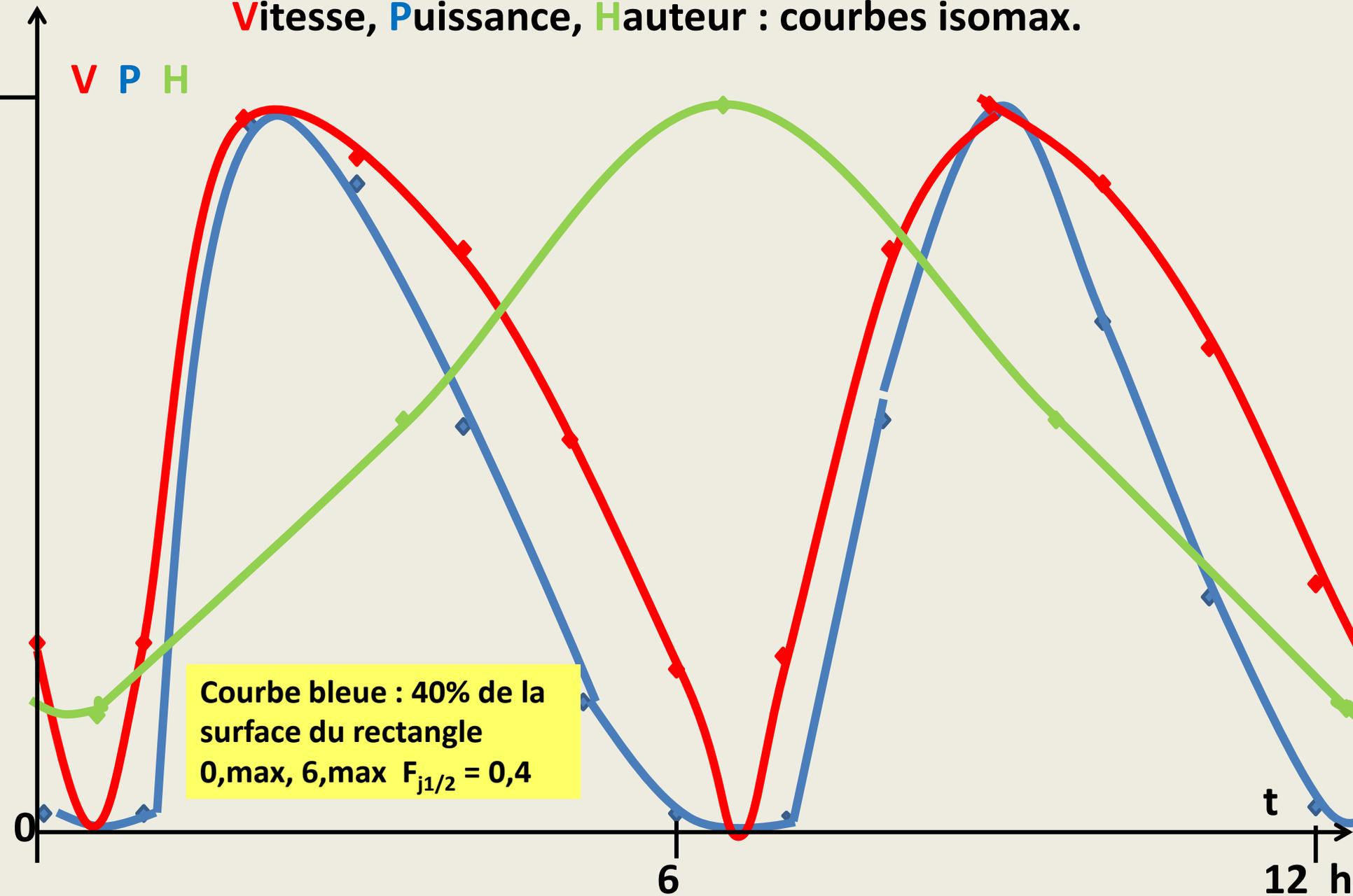
F R O M V E U R



 48° 22,6' N 5° 02,5' W		 48° 26,9' N 5° 02,2' W		 48° 25,4' N 4° 56,7' W	
346	1,7 0,7	248	1,8 0,5	335	0,3 0,1
352	2,0 0,9	042	1,8 1,6	053	0,3 0,2
357	2,0 0,9	044	6,7 3,7	071	0,3 0,4
001	1,8 0,9	046	6,6 3,7	012	0,6 0,3
003	1,4 0,7	046	5,6 2,9	021	1,0 0,4
000	0,8 0,4	045	3,8 1,8	035	0,4 0,3
296	0,2 0,1	040	1,6 0,6	188	0,1 0,1
197	0,9 0,4	240	1,7 1,1	239	0,7 0,2
190	1,4 0,7	237	5,6 3,0	231	1,0 0,3
197	1,0 0,8	233	6,8 3,7	230	0,8 0,3
286	0,4 0,5	234	6,1 3,4	243	0,6 0,3
335	1,1 0,2	236	4,7 2,6	266	0,4 0,3
342	1,6 0,4	246	2,3 1,3	312	0,2 0,1

Vitesse, Puissance, Hauteur : courbes isomax.

V P H



JANVIER Heure légale

Saint-Malo

PLEINES MERS

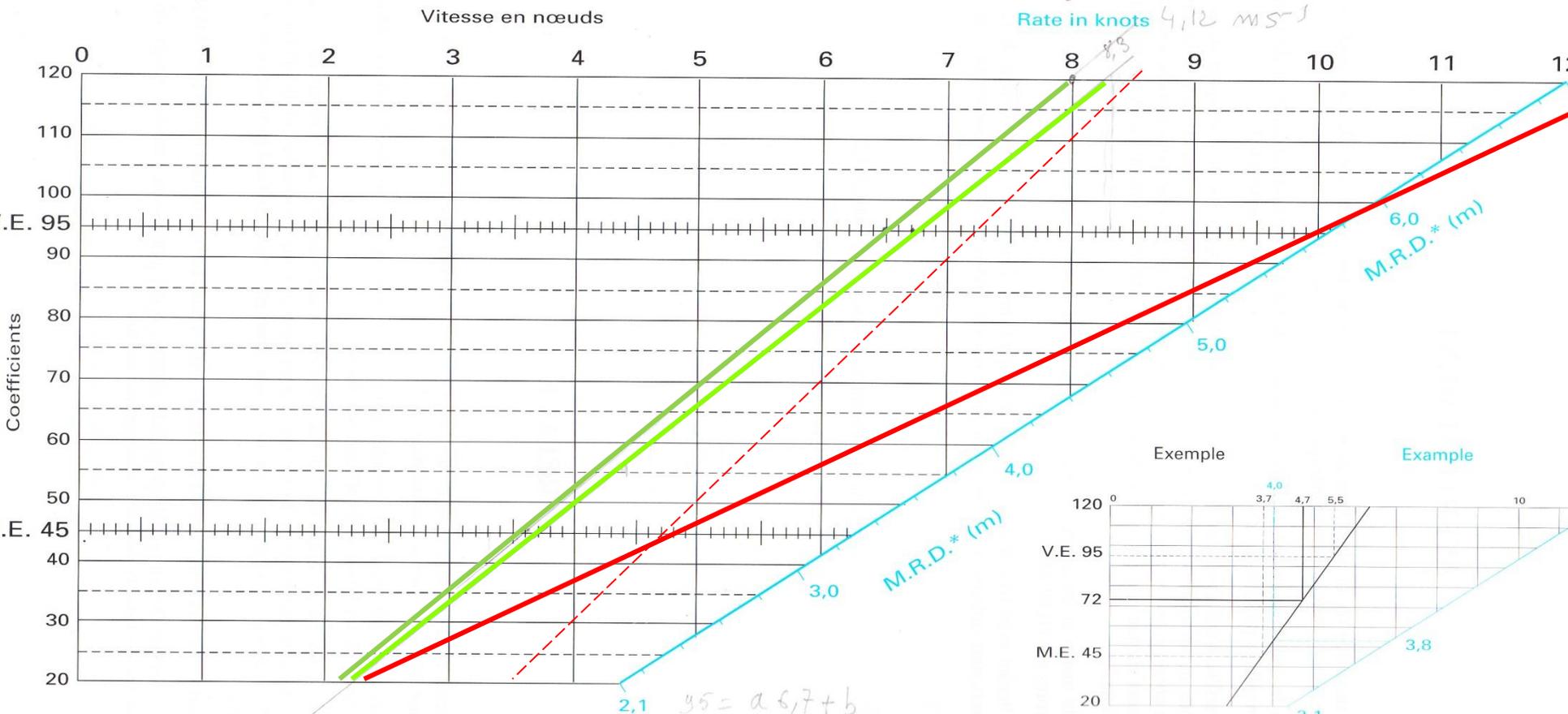
BASSES MERS

	PLEINES MERS			BASSES MERS			BASSES MERS			
	matin h mn	haut. m	coef.	soir h mn	haut. m	coef.	matin h mn	haut. m	soir h mn	haut. m
1 J	03 35	9,90	069	16 11	10,05	062	10 29	3,55	23 00	3,30
2 V	04 40	10,40	065	17 12	10,50	069	11 36	3,10	-- --	--
3 S	05 34	10,90	073	18 03	10,90	076	00 02	2,90	12 33	2,65
4 D	06 21	11,30	079	18 48	11,25	081	00 53	2,55	13 20	2,35
5 L	07 03	11,60	083	19 29	11,45	084	01 37	2,30	14 02	2,10
6 M	07 40	11,80	085	20 05	11,50	085	02 15	2,10	14 39	2,00
7 M	08 15	11,80	084	20 39	11,45	083	02 51	2,05	15 13	2,00
8 J	08 48	11,70	081	21 10	11,30	079	03 24	2,15	15 46	2,20
9 V	09 19	11,45	076	21 41	11,00	073	03 56	2,40	16 15	2,50
10 S	09 50	11,05	070	22 12	10,55	066	04 25	2,75	16 42	2,90
11 D	10 21	10,55	062	22 43	10,10	057	04 53	3,20	17 10	3,35
12 L	10 54	10,00	053	23 18	9,55	049	05 23	3,70	17 42	3,85
13 M	11 35	9,50	045	-- --	--	--	06 01	4,15	18 25	4,25
14 M	00 07	9,10	042	12 34	9,05	040	06 53	4,50	19 23	4,55
15 J	01 21	8,90	039	13 56	8,95	040	08 03	4,65	20 43	4,55
16 V	02 46	9,10	042	15 18	9,30	047	09 28	4,35	22 07	4,10
17 S	03 59	9,70	052	16 26	9,95	059	10 43	3,70	23 16	3,35
18 D	04 59	10,50	066	17 25	10,70	073	11 47	2,90	-- --	--
19 L	05 52	11,30	080	18 18	11,45	087	00 17	2,60	12 46	2,10
20 M	06 42	12,05	093	19 08	12,05	098	01 14	1,90	13 42	1,45
21 M	07 30	12,60	103	19 56	12,55	106	02 07	1,30	14 35	0,90
22 J	08 16	13,00	109	20 42	12,75	109	02 57	0,90	15 24	0,60
23 V	09 01	13,10	109	21 26	12,70	107	03 44	0,75	16 10	0,55
24 S	09 45	12,85	104	22 08	12,30	099	04 27	0,90	16 52	0,90
25 D	10 28	12,25	093	22 50	11,60	087	05 08	1,40	17 32	1,50
26 L	11 11	11,40	079	23 34	10,80	072	05 48	2,15	18 13	2,35
27 M	11 59	10,45	065	-- --	--	--	06 31	2,95	18 58	3,20
28 M	00 25	10,00	058	13 00	9,65	052	07 24	3,75	19 55	3,90
29 J	01 36	9,35	049	14 24	9,20	047	08 34	4,20	21 11	4,20
30 V	03 04	9,30	048	15 50	9,35	050	09 59	4,15	22 33	4,00
31 S	04 21	9,70	054	16 57	9,85	058	11 16	3,65	23 41	3,45

© SHOM n°229/2014 - Reproduction des prédictions de marées du SHOM pour Saint-Malo non vérifiée par le SHOM et réalisée sous la seule responsabilité de l'éditeur.

ABAUQUE DONNANT LA VITESSE DU COURANT EN FONCTION DES COEFFICIENTS DE MARÉE ET DES VITESSES EN VIVE-EAU ET EN MORTE-EAU.

DIAGRAM FOR THE COMPUTATION OF THE RATE VERSUS TIDE COEFFICIENTS OR M.R.D. * AND RATES FOR SPRING AND NEAP TIDES



Cet ouvrage est imprimé sur un papier spécial résistant à l'eau. Utiliser un crayon gras 3 B pour y porter vos calculs et vos positions.

This book is printed on a waterproof paper. Write your calculation and your position with a soft lead pencil (3 B).

$$95 = a \cdot 6,7 + b$$

$$45 = a \cdot 3,7 + b$$

$$a = \frac{50}{3} = 16,7$$

$$b = 95 - 16,7 \cdot 6,7 = -17$$

Vitesse en vive-eau : 5,5 nd
 Vitesse en morte-eau : 3,7 nd
 Vitesse par coefficient 72 : 4,7 nd

Mean spring rate = 5.5 kn
 Mean neap rate = 3.7 kn
 High water height at Dover = 4
 Low water height at Dover = 0
 Mean range of tide at Dover = 4
 Rate with M.R.D.* 3.8 m = 4.0 kn

$$x = \frac{y + 17}{16,7}$$

(* M.R.D. Mean Range of tide at Dover)

Handwritten calculations and notes at the bottom of the page, including 5^3 , $\frac{94}{1728}$, $\frac{3,6^3}{8^3}$, $\frac{38}{512}$, $\frac{1}{135}$, $\frac{34}{45}$, $\frac{67}{95}$, $\frac{12}{10} = 1,2$, $\frac{4,5}{10} = 0,25$, and $4,5 - 1$.

$$F_{j/2} = \langle v^3 \rangle / (v_{\max})^3$$

$$F_{j/2} = \sum_n v_n^3 / n (v_{\max})^3$$

$$F_{p95} = \sum_n (v_{\max,n})^3 / n (v_{95})^3$$

Coefficient = $c = av + b$

$$F_{p95} = \sum_n (c_n - b)^3 / n (95 - b)^3$$

$$F_{95} = \langle F_{p95} \rangle \langle F_{j/2} \rangle$$

MARS

Heure légale

Saint-Malo

PLEINES MERS

BASSES MERS

	matin	haut.	coef.	soir	haut.	coef.	matin	haut.	soir	haut.
	h mn	m		h mn	m		h mn	m	h mn	m
1 D	03 59	9,25	046	16 39	9,45	051	10 53	4,05	23 19	3,85
2 L	04 59	9,95	057	17 30	10,20	062	11 54	3,35	---	---
3 M	05 45	10,65	067	18 12	10,80	072	00 13	3,15	12 42	2,75
4 M	06 25	11,20	076	18 49	11,30	079	00 58	2,60	13 23	2,30
5 J	07 01	11,60	082	19 24	11,60	085	01 37	2,20	13 59	2,00
6 V	07 35	11,85	086	19 55	11,75	088	02 12	1,95	14 33	1,80
7 S	08 06	11,95	088	20 25	11,80	088	02 44	1,80	15 03	1,80
8 D	08 35	11,95	087	20 53	11,75	086	03 13	1,80	15 30	1,85
9 L	09 03	11,75	084	21 20	11,50	081	03 41	1,90	15 56	2,10
10 M	09 30	11,40	078	21 46	11,10	074	04 07	2,20	16 21	2,45
11 M	09 58	10,90	070	22 14	10,60	065	04 34	2,60	16 49	2,95
12 J	10 29	10,30	060	22 49	9,95	055	05 05	3,15	17 21	3,55
13 V	11 09	9,65	050	23 38	9,35	045	05 44	3,75	18 05	4,15
14 S	---	---	---	12 16	9,00	042	06 38	4,25	19 12	4,55
15 D	01 03	8,90	041	14 00	8,85	042	08 01	4,45	20 51	4,50
16 L	02 51	9,15	046	15 38	9,45	053	09 41	4,00	22 23	3,75
17 M	04 13	10,05	061	16 48	10,45	071	11 01	3,05	23 36	2,75
18 M	05 15	11,15	080	17 46	11,50	089	---	---	12 09	2,00
19 J	06 09	12,15	097	18 37	12,35	105	00 39	1,75	13 10	1,10
20 V	06 59	12,90	110	19 23	12,95	115	01 36	0,95	14 04	0,40
21 S	07 45	13,35	118	20 07	13,25	119	02 27	0,40	14 52	0,10
22 D	08 28	13,45	118	20 48	13,20	115	03 12	0,20	15 35	0,15
23 L	09 09	13,15	111	21 26	12,75	105	03 53	0,40	16 13	0,60
24 M	09 47	12,45	098	22 03	12,00	090	04 30	0,95	16 48	1,40
25 M	10 24	11,50	082	22 39	11,05	073	05 04	1,85	17 20	2,35
26 J	11 03	10,40	064	23 20	10,05	055	05 37	2,85	17 55	3,40
27 V	11 52	9,35	048	---	---	---	06 17	3,80	18 40	4,30
28 S	00 16	9,15	042	13 11	8,60	038	07 15	4,55	19 51	4,85
29 D	01 50	8,65	036	15 56	8,60	038	09 46	4,80	22 27	4,80
30 L	04 24	8,90	041	17 10	9,15	046	11 16	4,35	23 45	4,20
31 M	05 28	9,60	052	18 01	9,90	057	---	---	12 20	3,65

© SHOM n°229/2014 - Reproduction des prédictions de marées du SHOM pour Saint-Malo non vérifiée par le SHOM et réalisée sous la seule responsabilité de l'éditeur.

AVRIL

Heure légale

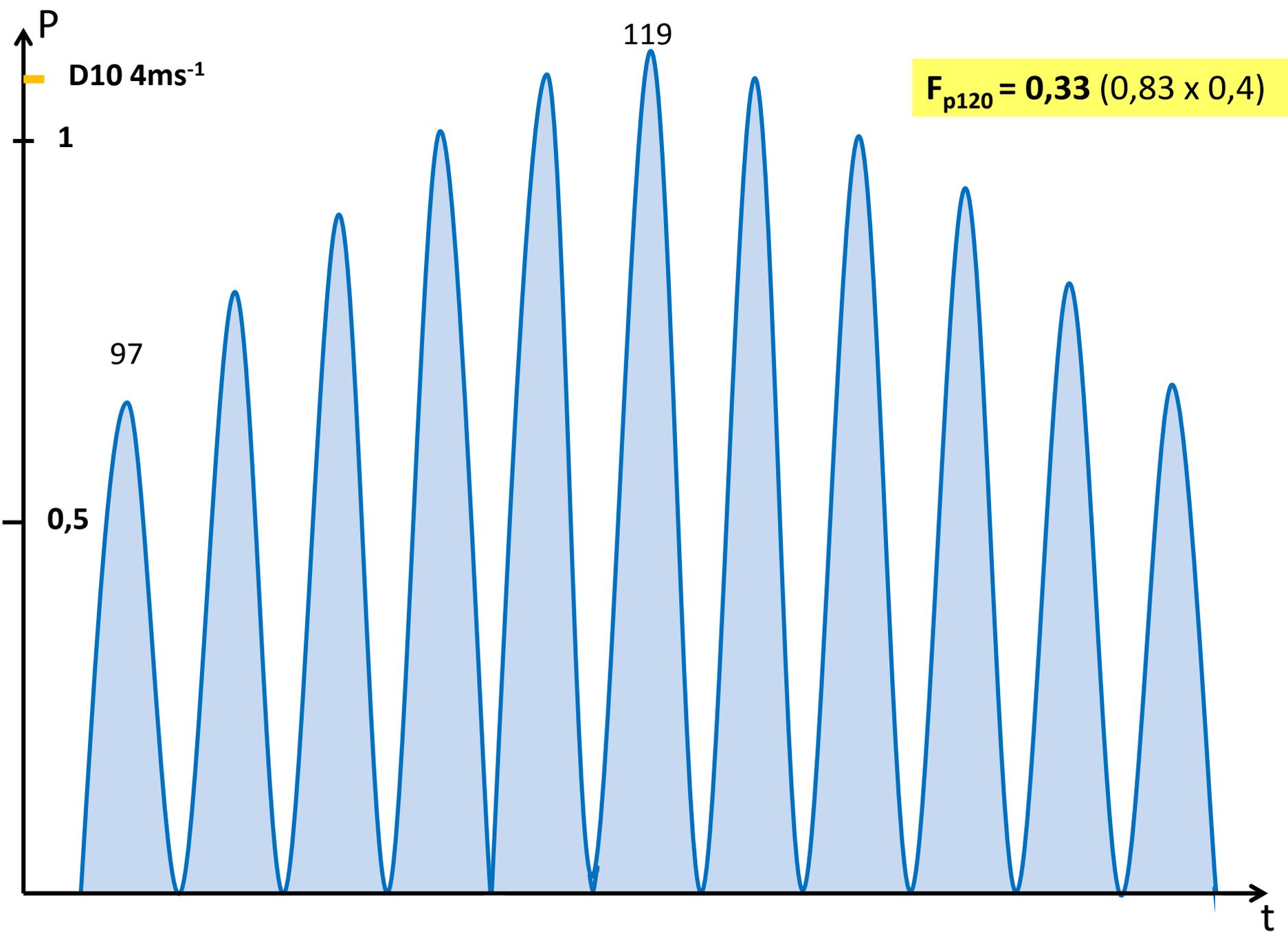
Saint-Malo

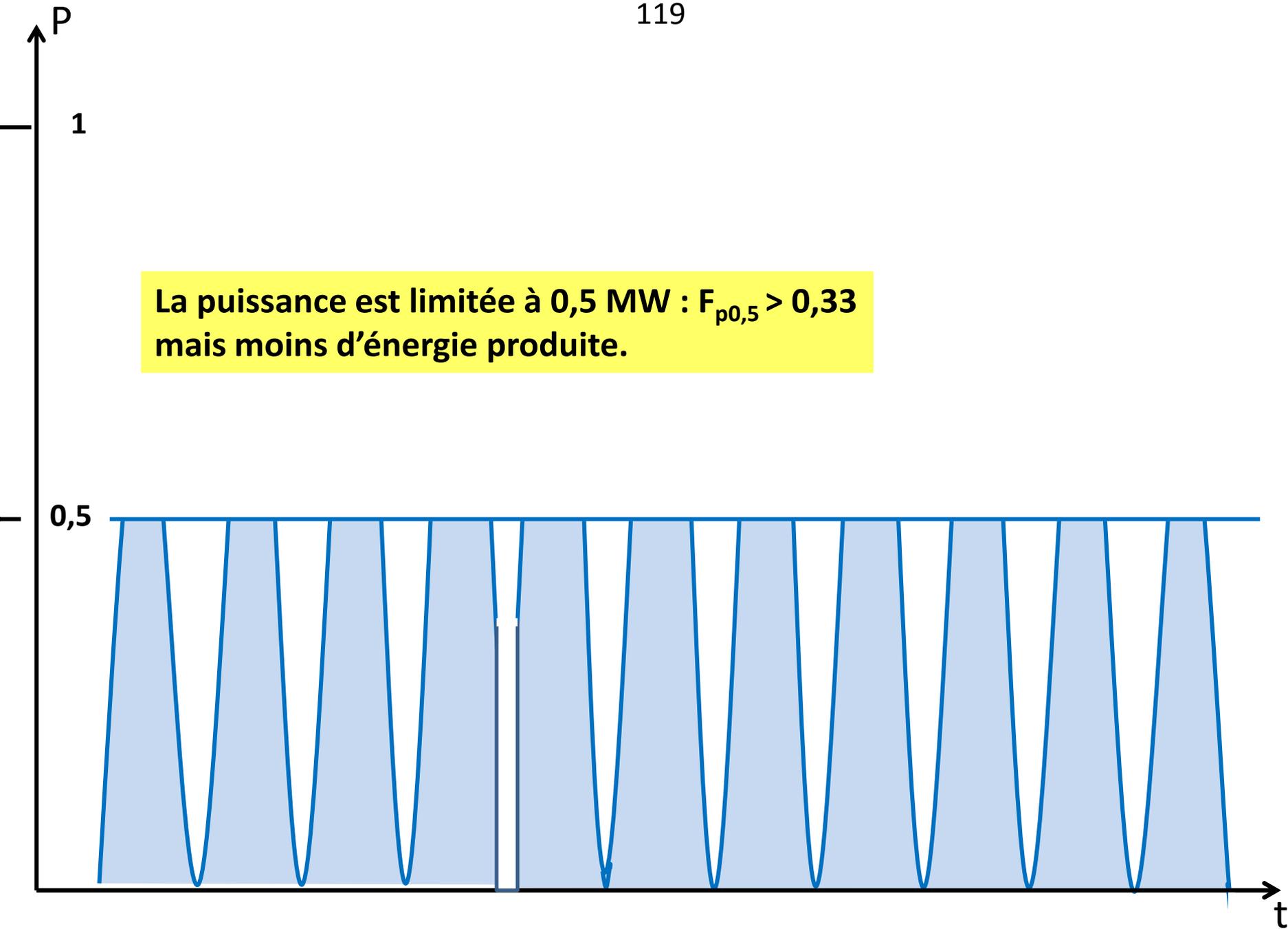
PLEINES MERS

BASSES MERS

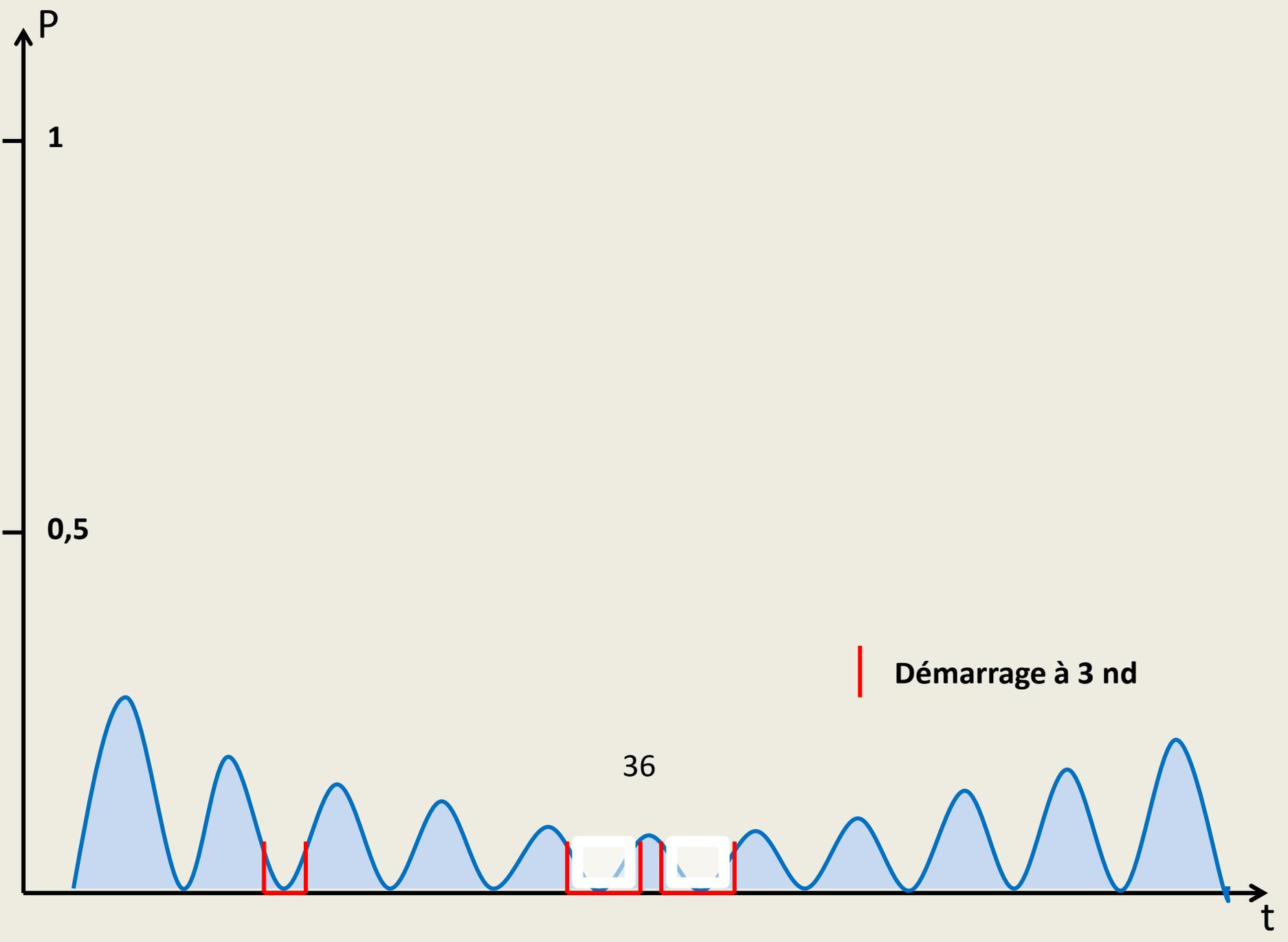
	matin	haut.	coef.	soir	haut.	coef.	matin	haut.	soir	haut.
	h mn	m		h mn	m		h mn	m	h mn	m
1 M	06 15	10,30	062	18 42	10,60	067	00 40	3,45	---	---
2 J	06 55	10,90	072	19 19	11,15	076	01 26	2,85	---	---
3 V	07 32	11,40	079	19 54	11,50	082	02 06	2,40	---	---
4 S	08 07	11,70	085	20 27	11,75	086	02 43	2,05	---	---
5 D	08 39	11,85	088	20 57	11,85	089	03 16	1,85	---	---
6 L	09 09	11,90	089	21 26	11,85	088	03 48	1,80	---	---
7 M	09 39	11,80	087	21 55	11,70	085	04 18	1,80	---	---
8 M	10 08	11,55	082	22 24	11,40	079	04 47	2,00	---	---
9 J	10 40	11,10	075	22 56	10,90	070	05 17	2,35	---	---
10 V	11 15	10,50	065	23 34	10,30	060	05 50	2,85	---	---
11 S	11 59	9,85	055	---	---	---	06 30	3,40	---	---
12 D	00 25	9,65	051	13 04	9,25	047	07 24	3,95	---	---
13 L	01 44	9,20	046	14 40	9,05	047	08 42	4,15	---	---
14 M	03 25	9,35	050	16 13	9,60	056	10 17	3,80	---	---
15 M	04 46	10,10	063	17 24	10,50	072	11 37	2,95	---	---
16 J	05 51	11,10	080	18 22	11,45	088	00 12	2,75	---	---
17 V	06 46	11,95	095	19 13	12,25	101	01 16	1,85	---	---
18 S	07 36	12,60	106	20 00	12,75	110	02 13	1,15	---	---
19 D	08 23	12,95	112	20 44	12,95	113	03 04	0,70	---	---
20 L	09 06	13,00	112	21 24	12,90	109	03 50	0,60	---	---
21 M	09 47	12,70	105	22 02	12,55	100	04 30	0,75	---	---
22 M	10 25	12,10	094	22 39	11,90	087	05 07	1,25	---	---
23 J	11 03	11,30	079	23 15	11,10	072	05 41	1,95	---	---
24 V	11 41	10,40	064	23 55	10,20	057	06 14	2,80	---	---
25 S	---	---	---	12 26	9,50	050	06 51	3,65	---	---
26 D	00 44	9,35	044	13 30	8,80	040	07 41	4,35	---	---
27 L	01 58	8,80	037	15 01	8,55	037	08 54	4,75	---	---
28 M	03 30	8,75	039	16 22	8,90	042	10 21	4,60	---	---
29 M	04 41	9,20	046	17 19	9,55	051	11 30	4,05	---	---
30 J	05 33	9,85	056	18 03	10,20	060	---	---	---	---

© SHOM n°229/2014 - Reproduction des prédictions de marées du SHOM pour Saint-Malo non vérifiée par le SHOM et réalisée sous la seule responsabilité de l'éditeur.



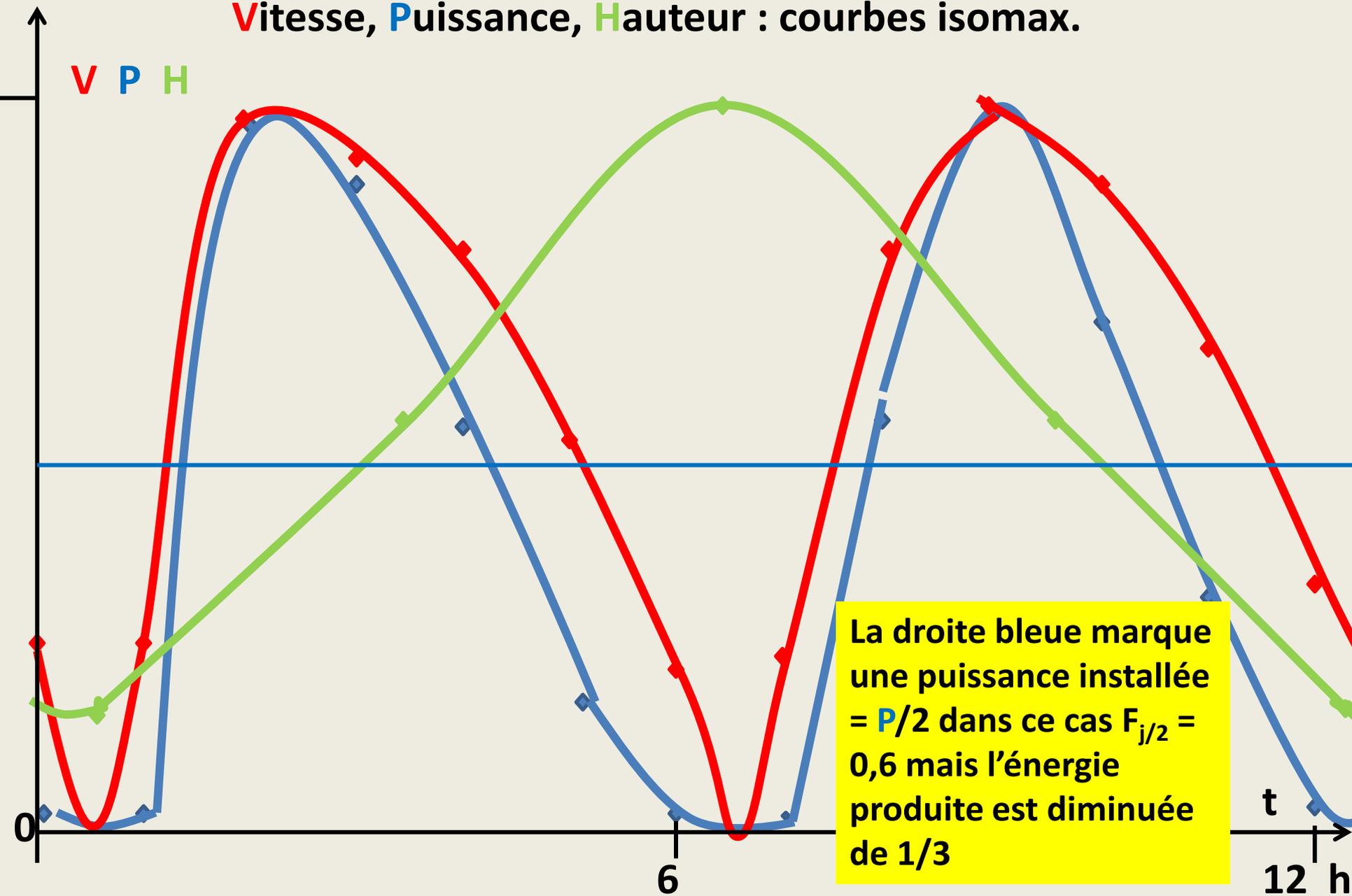


La puissance est limitée à 0,5 MW : $F_{p0,5} > 0,33$ mais moins d'énergie produite.



Vitesse, Puissance, Hauteur : courbes isomax.

V P H



La droite bleue marque une puissance installée = $P/2$ dans ce cas $F_{j/2} = 0,6$ mais l'énergie produite est diminuée de $1/3$

RESULTATS

Autour de la vive-eau du 21 03 2015 s moyenne sur 11 marées

$$F_{1p120} = 0,33$$

Autour de la morte-eau du 29 03 2015 m moyenne sur 11 marées

$$F_{2p120} = 0,03$$

De la vive-eau du 21 03 2015 s à la vive-eau du 5 04 2015 s
moyenne sur 29 marées

$$F_{3p120} = 0,14$$

De la morte-eau du 12 05 2015 s à la morte-eau du 25 05 2015 m
moyenne sur 29 marées

$$F_{4p120} = 0,14$$

Moyenne estimée sur 1 an

$$F_{120} = 0,14$$

Référence 4ms^{-1}

$$F_4 = 0,15$$

Valeurs majorées calculées à rendement intrinsèque R_i constant

PHARE DE KEREON



POTENTIEL

PUISSANCE MAXIMUM DU FROMVEUR (COEF. 120)

Un mille marin de large, 50 m = hauteur moyenne de la veine d'eau à la vitesse maximum (8 nd) : $P_{\max} = 3,3 \text{ GW}$

SURFACE UTILE

1,4 km de large, profondeur moyenne 47 m, de 5m au-dessus du fond à 10 m de la surface, porosité minimum 2/3, soit surface utile balayée par les pales : $S = 1,5 \text{ ha}$.

Plus la porosité est faible, plus le courant a tendance à contourner l'obstacle (la ferme hydrolienne).

PUISSANCE MAXIMUM RECUPERABLE

Puissance maximum pouvant être installée avec un rendement intrinsèque de 0,7 : $P_{i120} = 0,22 \text{ GW}$

Puissance moyenne correspondante : $\langle P_{120} \rangle = 31 \text{ MW}$

Sabella D10



PERFORMANCES

L'hydrolienne Sabella D10 en fonctionnement dans le Fromveur doit fournir 15% de la consommation en électricité de l'île qui a atteint 7074 MWh en 2015. Le modèle D10 doit donc fournir une énergie annuelle de 1061 MWh ce qui correspond à un facteur de charge de 0,12 pour une puissance installée de 1,1 MW à 4ms^{-1} . Il est normal que le facteur de charge réel soit inférieur au facteur théorique de 0,15, en effet, ni le seuil de démarrage, ni le faible rendement de départ n'ont été pris en compte pour cette évaluation.

L'alimentation complète de l'île est prévue avec des Sabella D 15 de puissance installée 2,5 MW par machine à 4ms^{-1} , on peut compter sur une amélioration du facteur de charge (pales plus grandes) qui passerait à 0,13. Une autonomie complète comprend un système de stockage de l'énergie. Si la moitié de l'électricité consommée par l'île provient d'un stockage de rendement 0,5 (batteries) il faudra 4 Sabella D15, si le rendement est 0,3 (filière hydrogène), il en faudra 5 + la D10. A mon avis il faut absolument réaliser cette expérience unique en y mettant les moyens et les collaborations nécessaires.

CONCLUSION

La consommation électrique moyenne des foyers français est 4,7 MWh par an. EDF prétend que la future ferme de 2 hydroliennes de Paimpol-Bréhat pourra alimenter 1500 foyers soit une production annuelle correspondant aux besoins de l'île de Ouessant avec une puissance installée et des performances prévisibles (si la « ferme » marche un jour) inférieures à Sabella D10. A mon avis, l'opération de pub qui consiste à exagérer d'un facteur 7 les performances hypothétiques de la « future première ferme hydrolienne d'Europe » vise à camoufler l'échec du prototype EDF-DCNS.

Le potentiel hydrolien français est bien moins élevé que certains le prétendent ; au mieux 1/5 d'équivalent-EPR. Il faut réserver les aides financières à ceux qui font leurs preuves et sont engagés dans des opérations spécifiques comme l'alimentation électrique d'une île isolée, et non pas aux hâbleurs qui n'ont, malgré des dépenses astronomiques, aucun résultat à présenter.

Je vous remercie pour votre attention

