

Estimation du temps de retour des
niveaux marins extrêmes: une
amélioration empirique de la méthode
des probabilités combinées, avec des
exemples pris sur la côte atlantique
française et sur celle des Cornouailles

Paolo Antonio Pirazzoli (CNRS-Meudon)

Alberto Tomasin (CNR-ISMAR, Venise)

Les méthodes généralement utilisées pour estimer les temps de retour de valeurs extrêmes de données hydrologiques ou météorologiques (extrêmes par bloc, méthode à seuil, maxima annuels) sont fondées sur un certain nombre d'hypothèses:

- que les données représentent des variables stochastiques;
- que la distribution initiale à partir de laquelle les extrêmes ont été obtenus et ses paramètres ne changent pas d'un échantillon à l'autre (pas de périodicité ni de tendance);
- que les extrêmes observés proviennent d'échantillons de données indépendantes.

Aucune de ces hypothèses n'est pleinement satisfaite par les enregistrement marégraphiques horaires, parce que:

- il y a des données manquantes, parfois nombreuses;
- les hauteurs de marée dépendent d'un certain nombre de périodicités (semi-diurne, diurne, déclinaison lunaire, etc....);
- l'existence de tendances d'origine climatique (eustatisme, changement climatique), régionale (tectonique, isostasie) ou locale (subsidence de la station marégraphique) est probable;
- des facteurs saisonniers accentuent la variabilité;
- enfin, si on considère uniquement les extrêmes annuels, les séries disponibles sont souvent trop courtes.

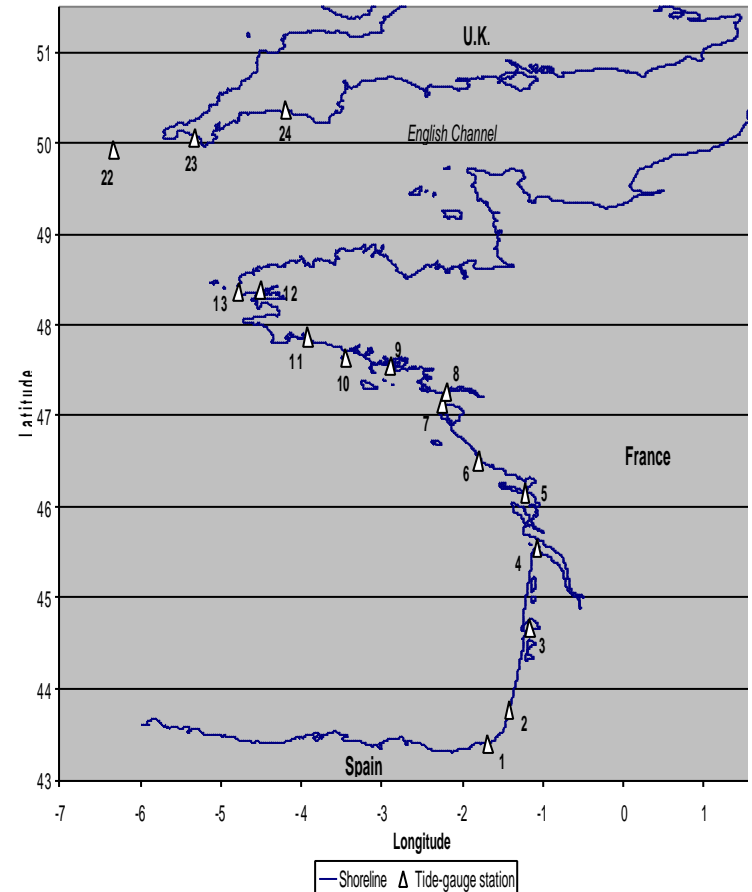
Afin de surmonter ces difficultés, Pugh and Vassie (1979) ont proposé la méthode des probabilités combinées, qui implique une estimation empirique de la probabilité de la marée et des surcotes séparément, en supposant l'indépendance des deux processus.

- Dans cette présentation, la méthode va être appliquée à 13 stations de la côte atlantique et à 3 stations des Cornouailles, de Saint-Jean-de-Luz (1) à Devonport (24).

- Il sera montré que cette méthode tend à surestimer systématiquement les niveaux extrêmes. Ceci est dû:

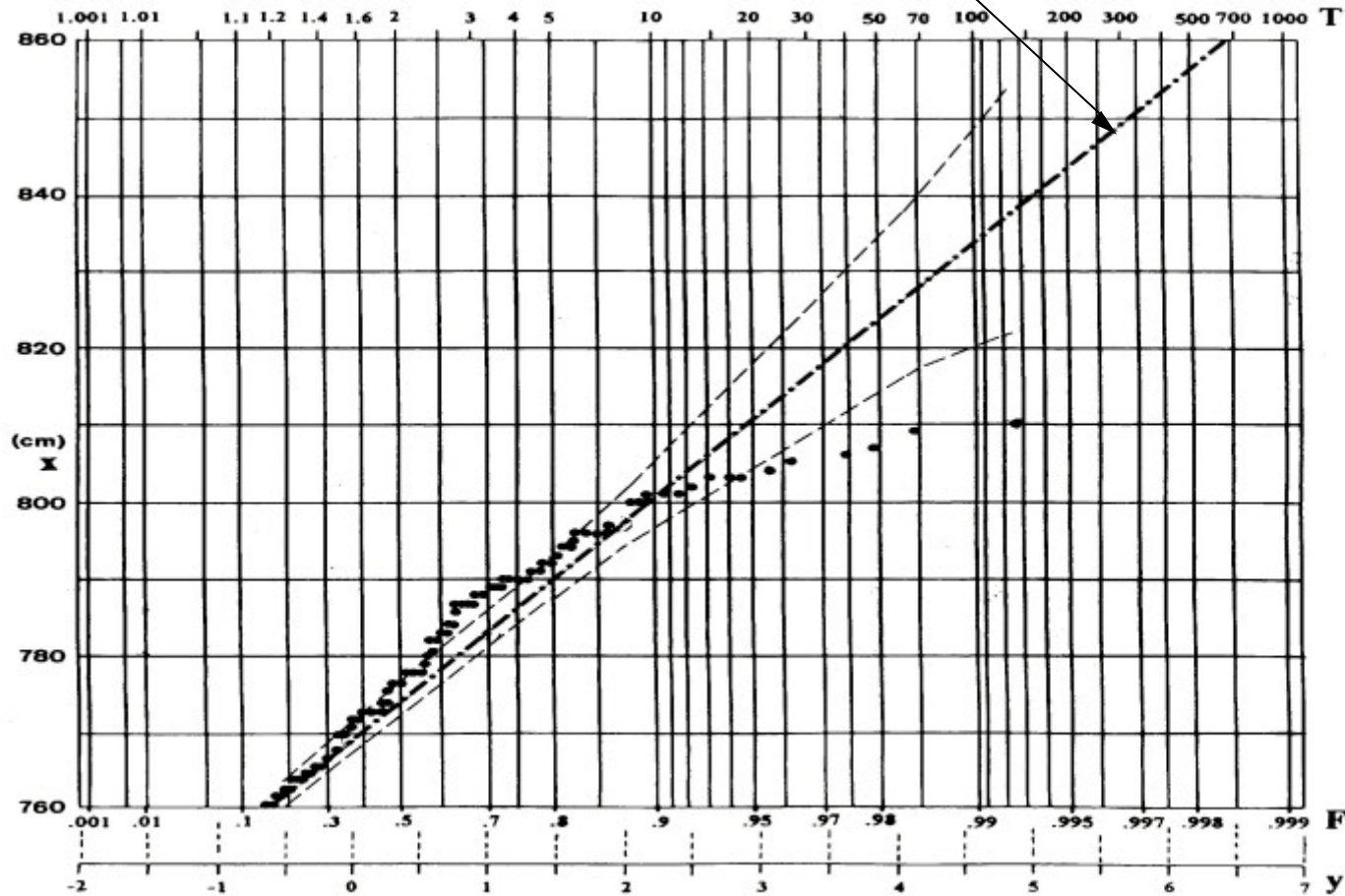
- 1) à des défauts d'indépendance des surcotes de la marée;
- 2) à des effets saisonniers.

- Enfin, des corrections empiriques seront proposées pour tenir compte de ces deux phénomènes.



Application de la méthode de Gumbel aux maxima annuels de la série de données horaires la plus longue: **Brest** (126 ans depuis 1860 avec moins de 15% de valeurs manquantes), après correction pour une élévation du niveau relatif de la mer de 0.127 mm/an.

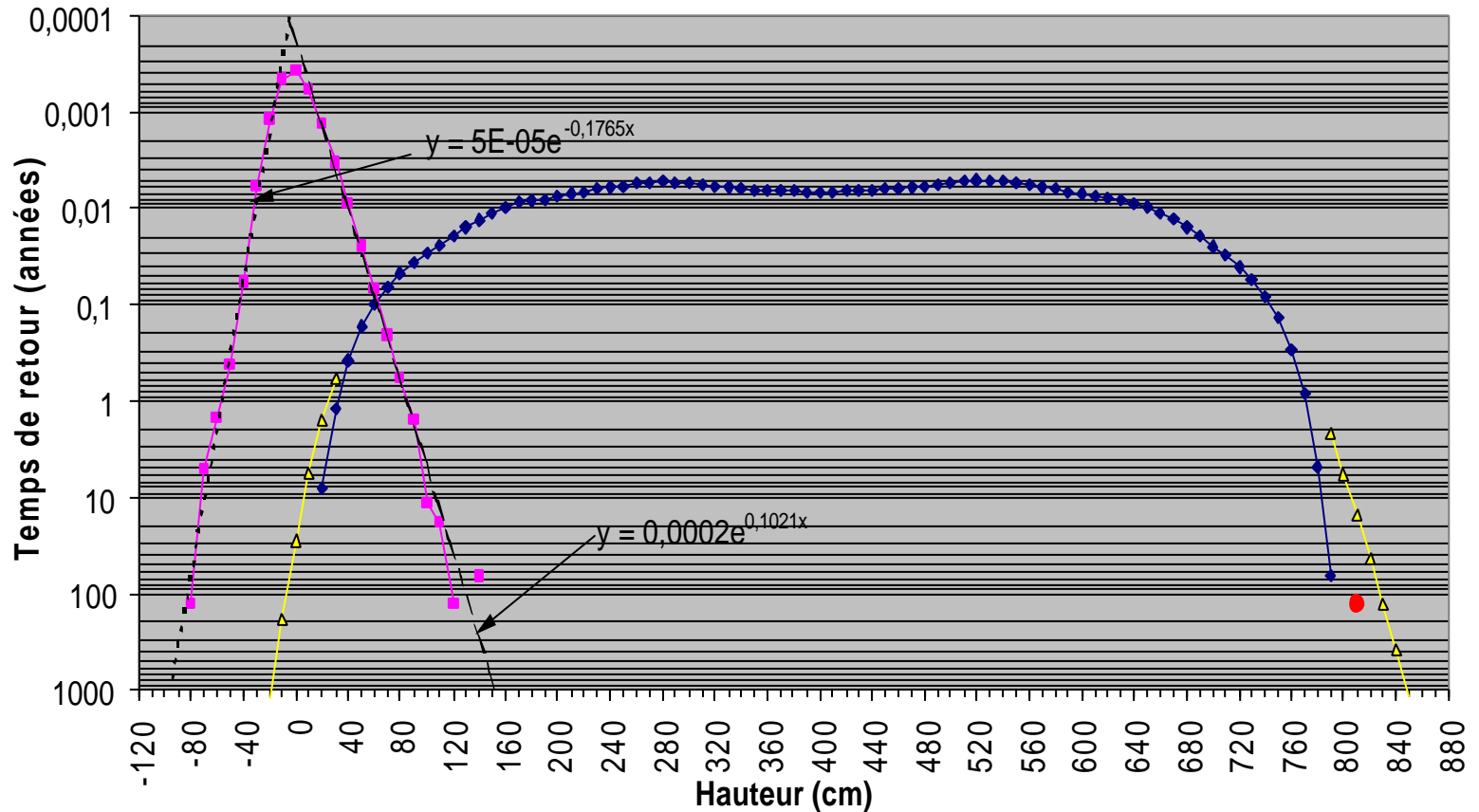
$$x = 778.57 + 14.73 y$$



$$T = \frac{1}{1 - F}$$

$$F = e^{-e^{-y}}$$

Application de la méthode des probabilités combinées aux données horaires de Brest



- ◆ Marée astronomique
- ▲ Probabilités combinées
- — — Extrapolation exponentielle pour les surcotes
- Surcotes/décotes
- Maximum mesuré
- · · · · Extrapolation exponentielle pour les décotes

**Test d'indépendance entre la marée et les surcotes:
distribution des surcotes horaires \geq 99,9e centile dans cinq
bandes de la marée astronomique de 20 centiles chaque (1)**

Station	99,9e centile des surcotes		Nombre d'observations de surcotes horaires \geq 99,9e centile dans chaque bande astronomique de 20 centiles					c ²	C99,9
	Hauteur (cm)	Nombre moyen attendu par bande	N 0-20	N 20-40	N 40-60	N 60-80	N 80-10		
St. Jean-de-Luz	45	21,4	23	19	21	20	24	3,4	1,12
Boucau	69	49	166	31	22	18	8	3477	0,16
Arca-chon	64	8	20	9	4	7	0	45,2	0,44
Port-Bloc	69	27,2	44	43	22	18	9	19,5	0,33

**Test d'indépendance entre la marée et les surcotes:
distribution des surcotes horaires \geq 99,9e centile dans cinq
bandes de la marée astronomique de 20 centiles chaque (2)**

Station	99,9e centile des surcotes		Nombre d'observations de surcotes horaires \geq 99,9e centile dans chaque bande astronomique de 20 centiles					c ²	C99,9
	Hauteur (cm)	Nombre moyen attendu par bande	N 0-20	N 20-40	N 40-60	N 60-80	N 80-10		
La Rochelle	74	35	42	52	47	18	16	226	0,46
Les Sables-d'Olonne	72	24,8	29	31	30	14	20	46	0,81
St. Gildas	65	42	42	50	45	38	35	34	0,83
St. Nazaire	76	36,8	41	42	42	31	28	37	0,76

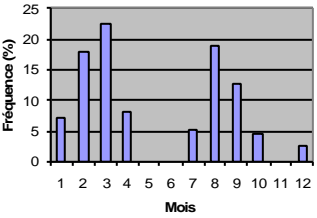
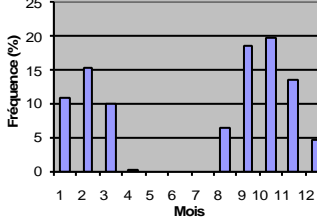
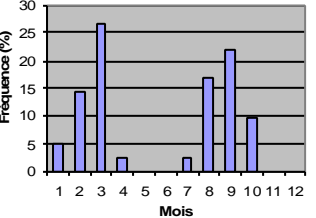
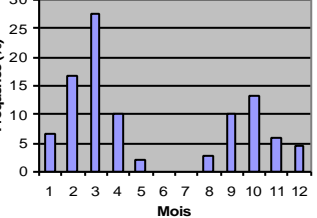
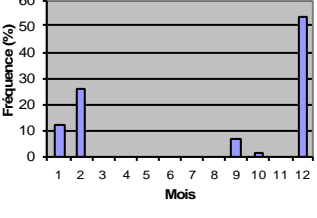
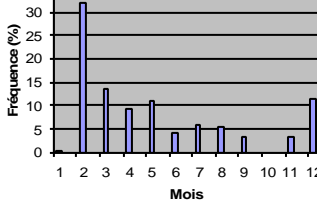
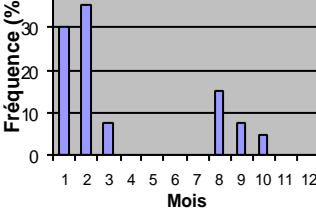
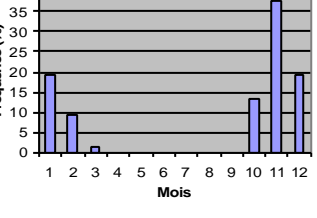
**Test d'indépendance entre la marée et les surcotes:
distribution des surcotes horaires \geq 99,9e centile dans cinq
bandes de la marée astronomique de 20 centiles chaque (3)**

Station	99,9e centile des surcotes		Nombre d'observations de surcotes horaires \geq 99,9e centile dans chaque bande astronomique de 20 centiles					c ²	C99,9
	Hauteur (cm)	Nombre moyen attendu par bande	N 0-20	N 20-40	N 40-60	N 60-80	N 80-10		
Port-Tudy	62	38,6	38	42	50	33	30	49	0,78
Le Crouesty	51	2,4	4	2	4	2	0	4,3	0,42
Concarneau	72	6,4	4	8	8	10	2	8,6	0,31
Brest	64	100,4	112	104	103	92	91	63	0,91

**Test d'indépendance entre la marée et les surcotes:
distribution des surcotes horaires \geq 99,9e centile dans cinq
bandes de la marée astronomique de 20 centiles chaque (4)**

Station	99,9e centile des surcotes		Nombre d'observations de surcotes horaires \geq 99,9e centile dans chaque bande astronomique de 20 centiles					c ²	C99,9
	Hauteur (cm)	Nombre moyen attendu par bande	N 0-20	N 20-40	N 40-60	N 60-80	N 80-10		
Le Conquet	58	56,8	69	67	72	42	34	245	0,60
St. Mary's	54	18,2	29	17	20	11	14	38	0,77
Newlyn	63	162,6	162	181	189	152	129	455	0,79
Devonport	60	23,8	34	29	20	18	18	43	0,76

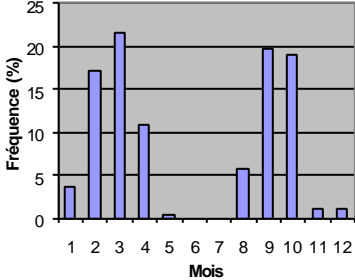
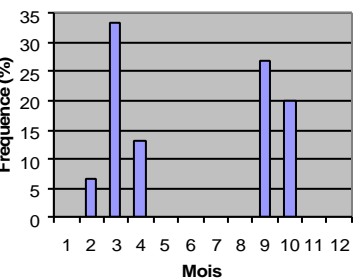
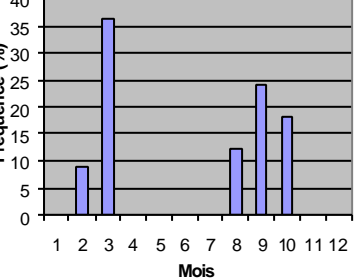
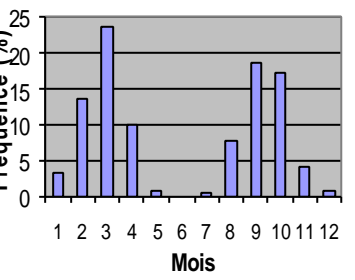
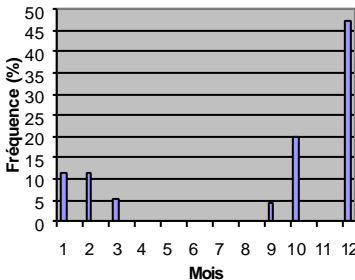
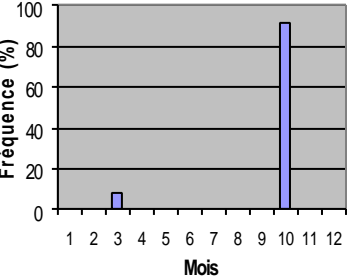
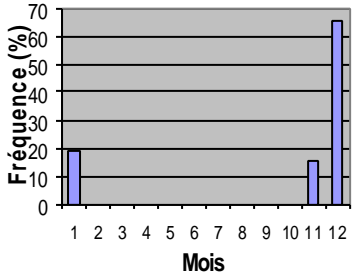
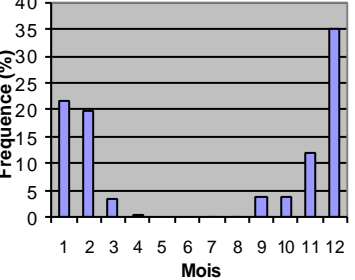
Distribution mensuelle des marées astronomiques horaires et des surcotes horaires $\geq 99,9$ centile (1)

1. Saint-Jean-de-Luz	2. Boucau, Bayonne	3. Arcachon, Eyrac	4. Le Verdon, Port-Bloc
<p>111 marées ≥ 467 cm</p> 	<p>273 marées ≥ 463 cm</p> 	<p>41 marées ≥ 449 cm</p> 	<p>149 marées ≥ 578 cm</p> 
<p>107 surcotes ≥ 45 cm</p> 	<p>245 surcotes ≥ 69 cm</p> 	<p>40 surcotes ≥ 64 cm</p> 	<p>136 surcotes ≥ 69 cm</p> 
<p>Possibilités de coïncidence : 36,34%</p>	<p>Possibilités de coïncidence : 43,06%</p>	<p>Possibilités de coïncidence : 54,51%</p>	<p>Possibilités de coïncidence : 41,72%</p>

Distribution mensuelle des marées astronomiques horaires et des surcotes horaires $\geq 99,9$ centile (2)

5. La Rochelle	6. Les Sables-d'Olonne	7. Saint-Gildas	8. Saint-Nazaire																																																																																																								
<p>178 marées ≥ 646 cm</p> <table border="1"> <caption>Data for La Rochelle Tides</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>2</td><td>12</td></tr><tr><td>3</td><td>21</td></tr><tr><td>4</td><td>6</td></tr><tr><td>5</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>1</td></tr><tr><td>7</td><td>2</td></tr><tr><td>8</td><td>12</td></tr><tr><td>9</td><td>22</td></tr><tr><td>10</td><td>14</td></tr><tr><td>11</td><td>2</td></tr><tr><td>12</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	5	2	12	3	21	4	6	5	1	6	1	7	2	8	12	9	22	10	14	11	2	12	1	<p>135 marées ≥ 564 cm</p> <table border="1"> <caption>Data for Les Sables-d'Olonne Tides</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>3</td></tr><tr><td>2</td><td>19</td></tr><tr><td>3</td><td>24</td></tr><tr><td>4</td><td>10</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td></tr><tr><td>6</td><td>0</td></tr><tr><td>7</td><td>1</td></tr><tr><td>8</td><td>11</td></tr><tr><td>9</td><td>16</td></tr><tr><td>10</td><td>14</td></tr><tr><td>11</td><td>1</td></tr><tr><td>12</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	3	2	19	3	24	4	10	5	0	6	0	7	1	8	11	9	16	10	14	11	1	12	1	<p>204 marées ≥ 572 cm</p> <table border="1"> <caption>Data for Saint-Gildas Tides</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4</td></tr><tr><td>2</td><td>20</td></tr><tr><td>3</td><td>28</td></tr><tr><td>4</td><td>9</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td></tr><tr><td>6</td><td>0</td></tr><tr><td>7</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>4</td></tr><tr><td>9</td><td>18</td></tr><tr><td>10</td><td>14</td></tr><tr><td>11</td><td>0</td></tr><tr><td>12</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	4	2	20	3	28	4	9	5	0	6	0	7	0	8	4	9	18	10	14	11	0	12	0	<p>199 marées ≥ 584 cm</p> <table border="1"> <caption>Data for Saint-Nazaire Tides</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4</td></tr><tr><td>2</td><td>21</td></tr><tr><td>3</td><td>32</td></tr><tr><td>4</td><td>11</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td></tr><tr><td>6</td><td>0</td></tr><tr><td>7</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>4</td></tr><tr><td>9</td><td>15</td></tr><tr><td>10</td><td>12</td></tr><tr><td>11</td><td>1</td></tr><tr><td>12</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	4	2	21	3	32	4	11	5	0	6	0	7	0	8	4	9	15	10	12	11	1	12	1
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	5																																																																																																										
2	12																																																																																																										
3	21																																																																																																										
4	6																																																																																																										
5	1																																																																																																										
6	1																																																																																																										
7	2																																																																																																										
8	12																																																																																																										
9	22																																																																																																										
10	14																																																																																																										
11	2																																																																																																										
12	1																																																																																																										
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	3																																																																																																										
2	19																																																																																																										
3	24																																																																																																										
4	10																																																																																																										
5	0																																																																																																										
6	0																																																																																																										
7	1																																																																																																										
8	11																																																																																																										
9	16																																																																																																										
10	14																																																																																																										
11	1																																																																																																										
12	1																																																																																																										
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	4																																																																																																										
2	20																																																																																																										
3	28																																																																																																										
4	9																																																																																																										
5	0																																																																																																										
6	0																																																																																																										
7	0																																																																																																										
8	4																																																																																																										
9	18																																																																																																										
10	14																																																																																																										
11	0																																																																																																										
12	0																																																																																																										
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	4																																																																																																										
2	21																																																																																																										
3	32																																																																																																										
4	11																																																																																																										
5	0																																																																																																										
6	0																																																																																																										
7	0																																																																																																										
8	4																																																																																																										
9	15																																																																																																										
10	12																																																																																																										
11	1																																																																																																										
12	1																																																																																																										
<p>175 surcotes ≥ 74 cm</p> <table border="1"> <caption>Data for La Rochelle Storm Surges</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>16</td></tr><tr><td>2</td><td>14</td></tr><tr><td>3</td><td>2</td></tr><tr><td>4</td><td>2</td></tr><tr><td>5</td><td>2</td></tr><tr><td>6</td><td>0</td></tr><tr><td>7</td><td>2</td></tr><tr><td>8</td><td>2</td></tr><tr><td>9</td><td>11</td></tr><tr><td>10</td><td>23</td></tr><tr><td>11</td><td>27</td></tr><tr><td>12</td><td>28</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	16	2	14	3	2	4	2	5	2	6	0	7	2	8	2	9	11	10	23	11	27	12	28	<p>124 surcotes ≥ 72 cm</p> <table border="1"> <caption>Data for Les Sables-d'Olonne Storm Surges</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>20</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>3</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td></tr><tr><td>5</td><td>0</td></tr><tr><td>6</td><td>0</td></tr><tr><td>7</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>23</td></tr><tr><td>9</td><td>1</td></tr><tr><td>10</td><td>17</td></tr><tr><td>11</td><td>38</td></tr><tr><td>12</td><td>39</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	20	2	1	3	1	4	1	5	0	6	0	7	0	8	23	9	1	10	17	11	38	12	39	<p>210 surcotes ≥ 65 cm</p> <table border="1"> <caption>Data for Saint-Gildas Storm Surges</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>10</td></tr><tr><td>2</td><td>11</td></tr><tr><td>3</td><td>3</td></tr><tr><td>4</td><td>3</td></tr><tr><td>5</td><td>1</td></tr><tr><td>6</td><td>0</td></tr><tr><td>7</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>3</td></tr><tr><td>9</td><td>11</td></tr><tr><td>10</td><td>24</td></tr><tr><td>11</td><td>35</td></tr><tr><td>12</td><td>36</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	10	2	11	3	3	4	3	5	1	6	0	7	0	8	3	9	11	10	24	11	35	12	36	<p>184 surcotes ≥ 76 cm</p> <table border="1"> <caption>Data for Saint-Nazaire Storm Surges</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>12</td></tr><tr><td>2</td><td>22</td></tr><tr><td>3</td><td>8</td></tr><tr><td>4</td><td>0</td></tr><tr><td>5</td><td>7</td></tr><tr><td>6</td><td>0</td></tr><tr><td>7</td><td>0</td></tr><tr><td>8</td><td>7</td></tr><tr><td>9</td><td>20</td></tr><tr><td>10</td><td>21</td></tr><tr><td>11</td><td>21</td></tr><tr><td>12</td><td>21</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	12	2	22	3	8	4	0	5	7	6	0	7	0	8	7	9	20	10	21	11	21	12	21
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	16																																																																																																										
2	14																																																																																																										
3	2																																																																																																										
4	2																																																																																																										
5	2																																																																																																										
6	0																																																																																																										
7	2																																																																																																										
8	2																																																																																																										
9	11																																																																																																										
10	23																																																																																																										
11	27																																																																																																										
12	28																																																																																																										
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	20																																																																																																										
2	1																																																																																																										
3	1																																																																																																										
4	1																																																																																																										
5	0																																																																																																										
6	0																																																																																																										
7	0																																																																																																										
8	23																																																																																																										
9	1																																																																																																										
10	17																																																																																																										
11	38																																																																																																										
12	39																																																																																																										
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	10																																																																																																										
2	11																																																																																																										
3	3																																																																																																										
4	3																																																																																																										
5	1																																																																																																										
6	0																																																																																																										
7	0																																																																																																										
8	3																																																																																																										
9	11																																																																																																										
10	24																																																																																																										
11	35																																																																																																										
12	36																																																																																																										
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	12																																																																																																										
2	22																																																																																																										
3	8																																																																																																										
4	0																																																																																																										
5	7																																																																																																										
6	0																																																																																																										
7	0																																																																																																										
8	7																																																																																																										
9	20																																																																																																										
10	21																																																																																																										
11	21																																																																																																										
12	21																																																																																																										
<p>Possibilités de coïncidence : 40,71%</p>	<p>Possibilités de coïncidence : 26,25%</p>	<p>Possibilités de coïncidence : 32,54%</p>	<p>Possibilités de coïncidence : 42,94%</p>																																																																																																								

Distribution mensuelle des marées astronomiques horaires et des surcotes horaires $\geq 99,9$ centile (3)

9. Port-Tudy	10. Le Crouesty	11. Concarneau	12. Brest																																																																																																								
<p>194 marées ≥ 551 cm</p>  <table border="1"> <caption>Data for Port-Tudy Tides</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>2</td><td>18</td></tr> <tr><td>3</td><td>22</td></tr> <tr><td>4</td><td>11</td></tr> <tr><td>5</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>6</td></tr> <tr><td>9</td><td>20</td></tr> <tr><td>10</td><td>19</td></tr> <tr><td>11</td><td>1</td></tr> <tr><td>12</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	4	2	18	3	22	4	11	5	1	6	0	7	0	8	6	9	20	10	19	11	1	12	1	<p>15 marées ≥ 579 cm</p>  <table border="1"> <caption>Data for Le Crouesty Tides</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>7</td></tr> <tr><td>3</td><td>34</td></tr> <tr><td>4</td><td>14</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>0</td></tr> <tr><td>9</td><td>27</td></tr> <tr><td>10</td><td>20</td></tr> <tr><td>11</td><td>0</td></tr> <tr><td>12</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	0	2	7	3	34	4	14	5	0	6	0	7	0	8	0	9	27	10	20	11	0	12	0	<p>33 marées ≥ 540 cm</p>  <table border="1"> <caption>Data for Concarneau Tides</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>9</td></tr> <tr><td>3</td><td>37</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>12</td></tr> <tr><td>9</td><td>24</td></tr> <tr><td>10</td><td>18</td></tr> <tr><td>11</td><td>18</td></tr> <tr><td>12</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	0	2	9	3	37	4	0	5	0	6	0	7	0	8	12	9	24	10	18	11	18	12	0	<p>1229 marées ≥ 748 cm</p>  <table border="1"> <caption>Data for Brest Tides</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>2</td><td>14</td></tr> <tr><td>3</td><td>24</td></tr> <tr><td>4</td><td>10</td></tr> <tr><td>5</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>1</td></tr> <tr><td>8</td><td>8</td></tr> <tr><td>9</td><td>19</td></tr> <tr><td>10</td><td>18</td></tr> <tr><td>11</td><td>4</td></tr> <tr><td>12</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	4	2	14	3	24	4	10	5	1	6	0	7	1	8	8	9	19	10	18	11	4	12	1
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	4																																																																																																										
2	18																																																																																																										
3	22																																																																																																										
4	11																																																																																																										
5	1																																																																																																										
6	0																																																																																																										
7	0																																																																																																										
8	6																																																																																																										
9	20																																																																																																										
10	19																																																																																																										
11	1																																																																																																										
12	1																																																																																																										
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	0																																																																																																										
2	7																																																																																																										
3	34																																																																																																										
4	14																																																																																																										
5	0																																																																																																										
6	0																																																																																																										
7	0																																																																																																										
8	0																																																																																																										
9	27																																																																																																										
10	20																																																																																																										
11	0																																																																																																										
12	0																																																																																																										
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	0																																																																																																										
2	9																																																																																																										
3	37																																																																																																										
4	0																																																																																																										
5	0																																																																																																										
6	0																																																																																																										
7	0																																																																																																										
8	12																																																																																																										
9	24																																																																																																										
10	18																																																																																																										
11	18																																																																																																										
12	0																																																																																																										
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	4																																																																																																										
2	14																																																																																																										
3	24																																																																																																										
4	10																																																																																																										
5	1																																																																																																										
6	0																																																																																																										
7	1																																																																																																										
8	8																																																																																																										
9	19																																																																																																										
10	18																																																																																																										
11	4																																																																																																										
12	1																																																																																																										
<p>193 surcotes ≥ 62 cm</p>  <table border="1"> <caption>Data for Port-Tudy Surges</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>11</td></tr> <tr><td>2</td><td>11</td></tr> <tr><td>3</td><td>5</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>0</td></tr> <tr><td>9</td><td>4</td></tr> <tr><td>10</td><td>20</td></tr> <tr><td>11</td><td>0</td></tr> <tr><td>12</td><td>48</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	11	2	11	3	5	4	0	5	0	6	0	7	0	8	0	9	4	10	20	11	0	12	48	<p>12 surcotes ≥ 51 cm</p>  <table border="1"> <caption>Data for Le Crouesty Surges</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>0</td></tr> <tr><td>9</td><td>0</td></tr> <tr><td>10</td><td>92</td></tr> <tr><td>11</td><td>0</td></tr> <tr><td>12</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	0	2	0	3	8	4	0	5	0	6	0	7	0	8	0	9	0	10	92	11	0	12	0	<p>32 surcotes ≥ 72 cm</p>  <table border="1"> <caption>Data for Concarneau Surges</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>20</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>0</td></tr> <tr><td>9</td><td>0</td></tr> <tr><td>10</td><td>15</td></tr> <tr><td>11</td><td>10</td></tr> <tr><td>12</td><td>65</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	20	2	0	3	0	4	0	5	0	6	0	7	0	8	0	9	0	10	15	11	10	12	65	<p>1186 surcotes ≥ 63 cm</p>  <table border="1"> <caption>Data for Brest Surges</caption> <thead> <tr><th>Mois</th><th>Fréquence (%)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>22</td></tr> <tr><td>2</td><td>20</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td></tr> <tr><td>8</td><td>0</td></tr> <tr><td>9</td><td>4</td></tr> <tr><td>10</td><td>4</td></tr> <tr><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><td>12</td><td>35</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Fréquence (%)	1	22	2	20	3	4	4	0	5	0	6	0	7	0	8	0	9	4	10	4	11	12	12	35
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	11																																																																																																										
2	11																																																																																																										
3	5																																																																																																										
4	0																																																																																																										
5	0																																																																																																										
6	0																																																																																																										
7	0																																																																																																										
8	0																																																																																																										
9	4																																																																																																										
10	20																																																																																																										
11	0																																																																																																										
12	48																																																																																																										
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	0																																																																																																										
2	0																																																																																																										
3	8																																																																																																										
4	0																																																																																																										
5	0																																																																																																										
6	0																																																																																																										
7	0																																																																																																										
8	0																																																																																																										
9	0																																																																																																										
10	92																																																																																																										
11	0																																																																																																										
12	0																																																																																																										
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	20																																																																																																										
2	0																																																																																																										
3	0																																																																																																										
4	0																																																																																																										
5	0																																																																																																										
6	0																																																																																																										
7	0																																																																																																										
8	0																																																																																																										
9	0																																																																																																										
10	15																																																																																																										
11	10																																																																																																										
12	65																																																																																																										
Mois	Fréquence (%)																																																																																																										
1	22																																																																																																										
2	20																																																																																																										
3	4																																																																																																										
4	0																																																																																																										
5	0																																																																																																										
6	0																																																																																																										
7	0																																																																																																										
8	0																																																																																																										
9	4																																																																																																										
10	4																																																																																																										
11	12																																																																																																										
12	35																																																																																																										
<p>Possibilités de coïncidence : 45,08%</p>	<p>Possibilités de coïncidence : 28,33%</p>	<p>Possibilités de coïncidence : 0%</p>	<p>Possibilités de coïncidence : 30,26%</p>																																																																																																								

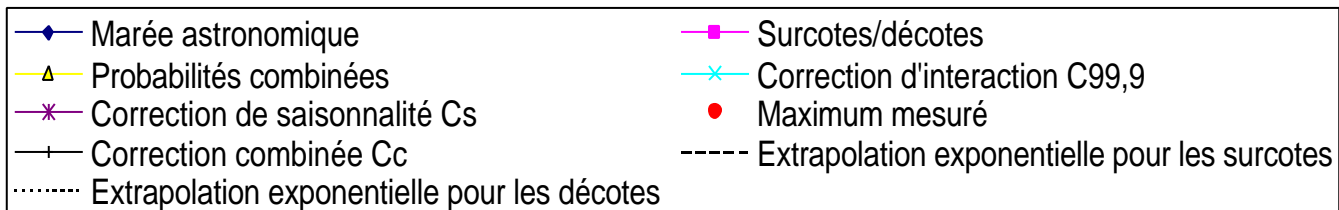
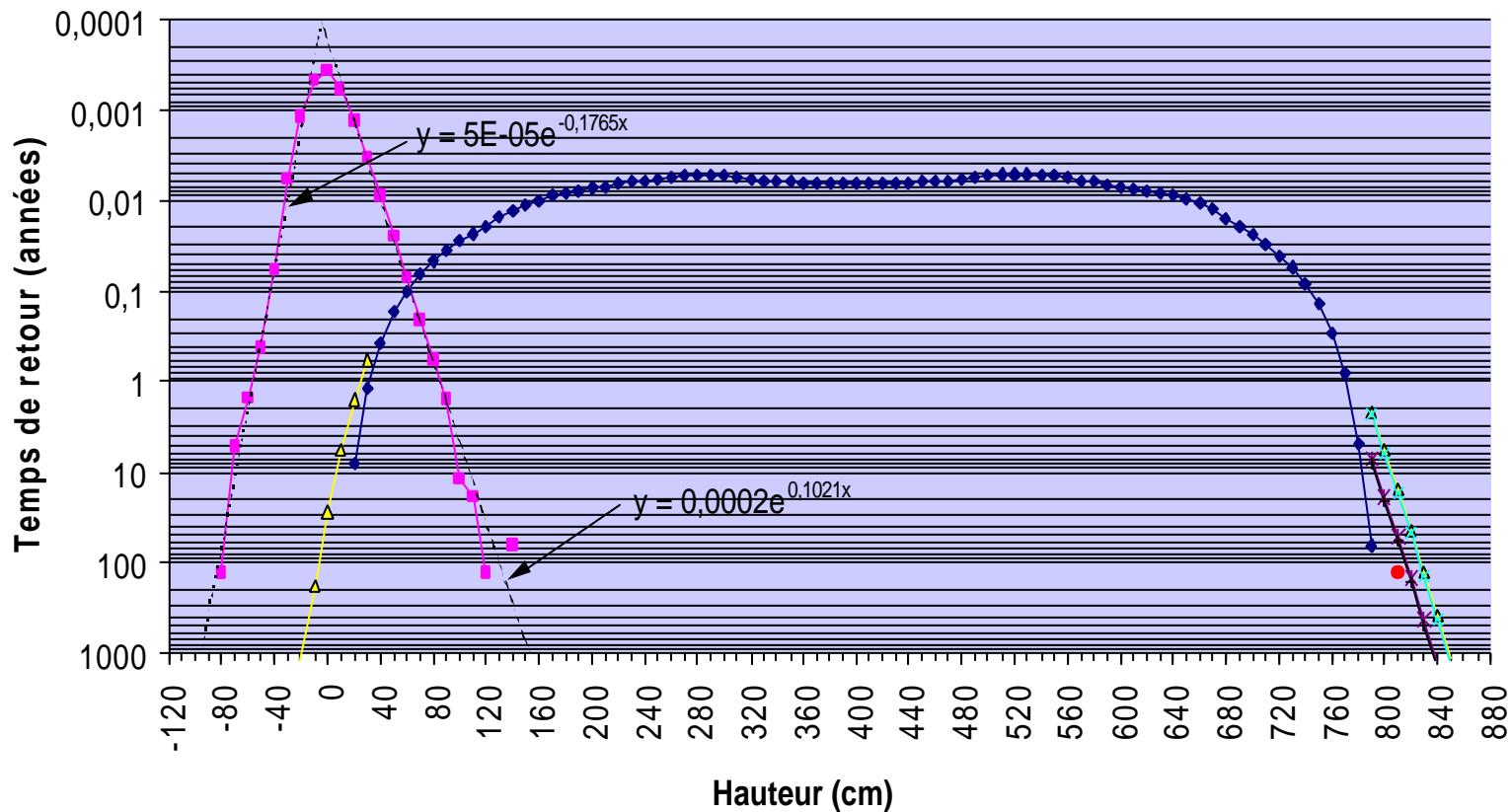
Distribution mensuelle des marées astronomiques horaires et des surcotes horaires $\geq 99,9$ e centile (4)

13. Conquet	22. St. Mary's	23. Newlyn	24. Devonport
<p>300 marées ≥ 760 cm</p> <p>Fréquence (%)</p> <p>Mois</p>	<p>93 marées ≥ 603 cm</p> <p>Fréquence (%)</p> <p>Mois</p>	<p>749 marées ≥ 580 cm</p> <p>Fréquence (%)</p> <p>Mois</p>	<p>126 marées ≥ 587 cm</p> <p>Fréquence (%)</p> <p>Mois</p>
<p>284 surcotes ≥ 58 cm</p> <p>Fréquence (%)</p> <p>Mois</p>	<p>91 marées ≥ 54 cm</p> <p>Fréquence (%)</p> <p>Mois</p>	<p>813 surcotes ≥ 63 cm</p> <p>Fréquence (%)</p> <p>Mois</p>	<p>119 surcotes ≥ 60 cm</p> <p>Fréquence (%)</p> <p>Mois</p>
<p>Possibilités de coïncidence : 26,82 %</p>	<p>Possibilités de coïncidence : 43,16 %</p>	<p>Possibilités de coïncidence : 25,59 %</p>	<p>Possibilités de coïncidence : 39,31 %</p>

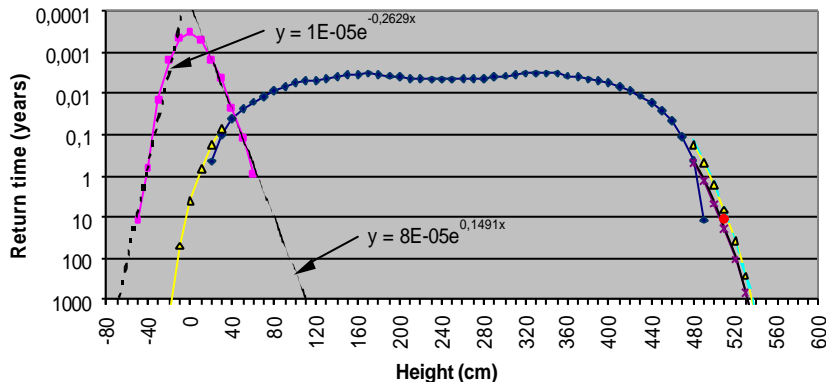
Coefficients de correction pour **interaction marée-surcotes (C99,9)**, pour **effets saisonniers (CS)** et **correction combinée (CC= C99,9 x CS)**

Station	C99,9	CS	CC	Station	C99,9	CS	CC
1. Saint-Jean-de-Luz	1,12	0,36	0,40	9. Port-Tudy	0,78	0,45	0,35
2. Boucau	0,16	0,43	0,07	10. Le Crouesty	0,42	0,28	0,12
3. Arcachon	0,44	0,55	0,24	11. Concarneau	0,31	0	n.d.
4. Port-Bloc	0,33	0,42	0,14	12. Brest	0,99	0,30	0,30
5. La Rochelle	0,46	0,41	0,19	13. Le Conquet	0,60	0,27	0,16
6. Les Sables-d'Olonne	0,81	0,26	0,21	22. St. Mary's	0,77	0,43	0,33
7. Saint-Gildas	0,83	0,33	0,27	23. Newlyn	0,79	0,26	0,21
8. Saint-Nazaire	0,76	0,43	0,33	24. Devonport	0,76	0,39	0,30

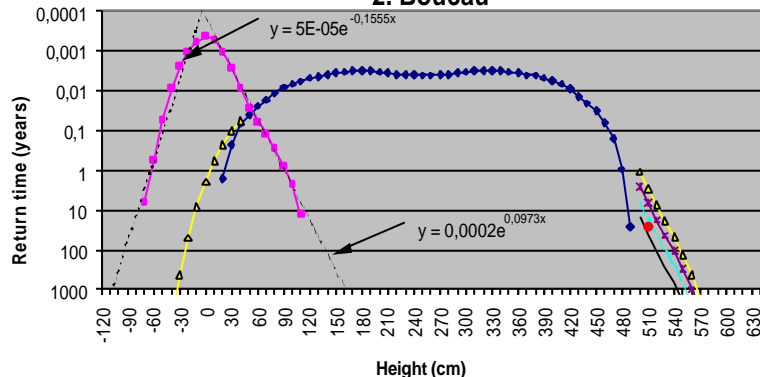
Application des coefficients de correction aux données de Brest



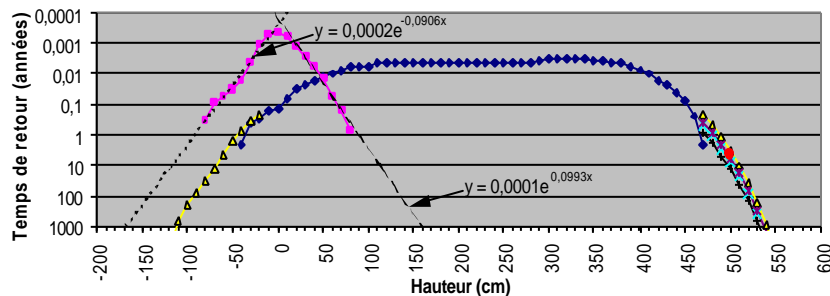
1. Saint-Jean-de-Luz



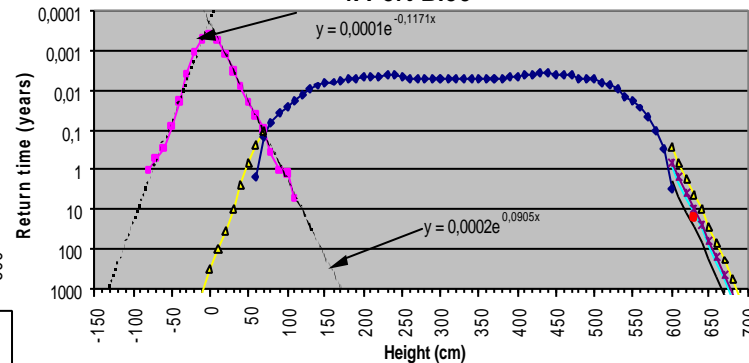
2. Boucau



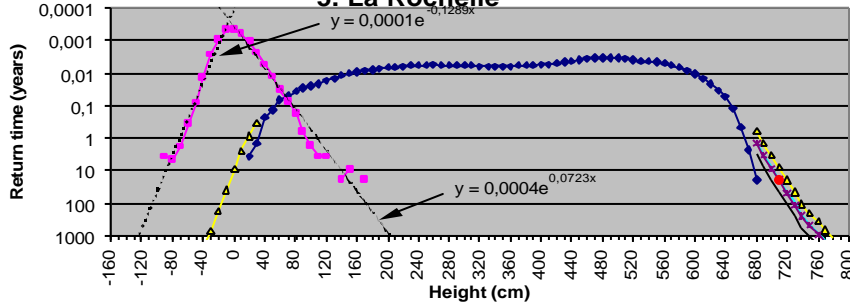
3. Arcachon



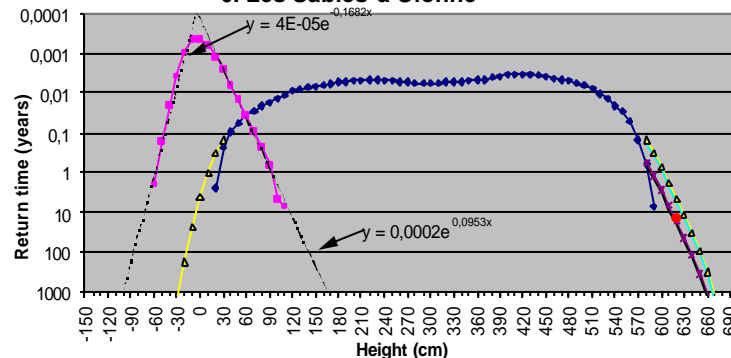
4. Port-Bloc

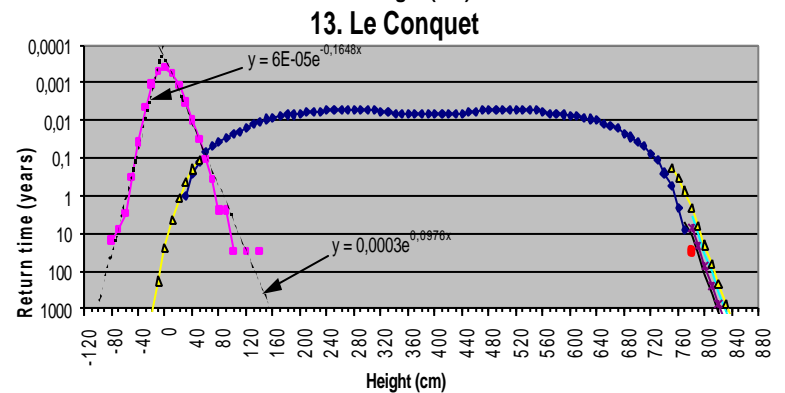
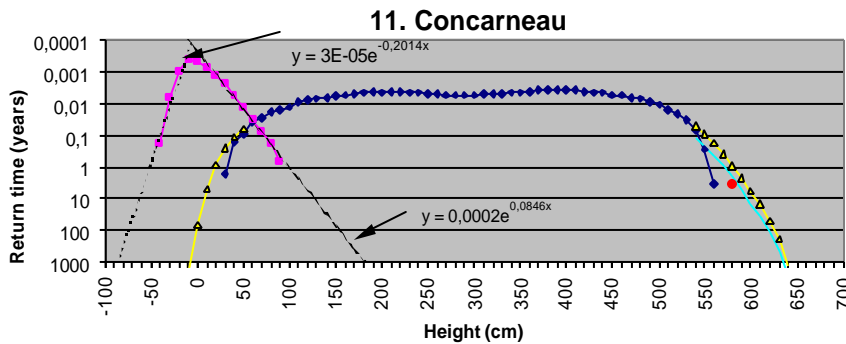
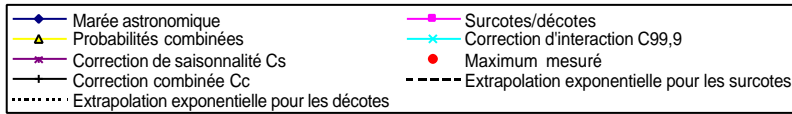
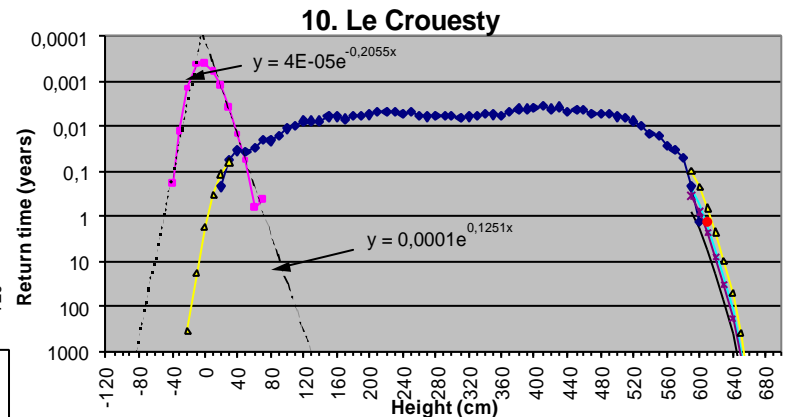
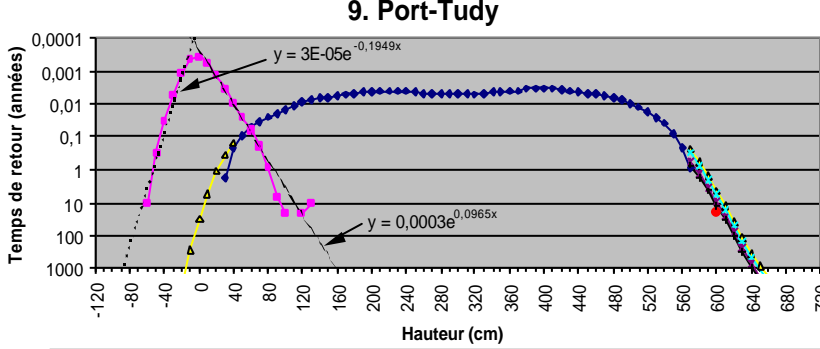
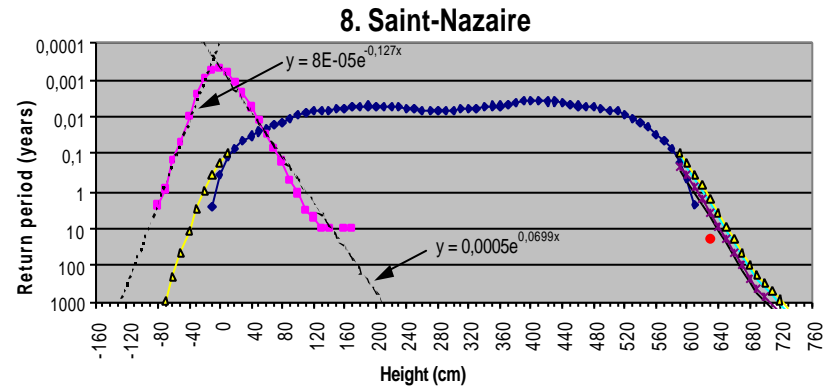
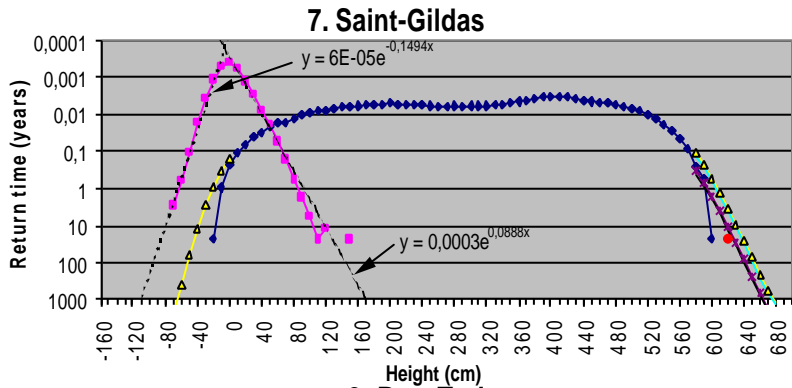


5. La Rochelle



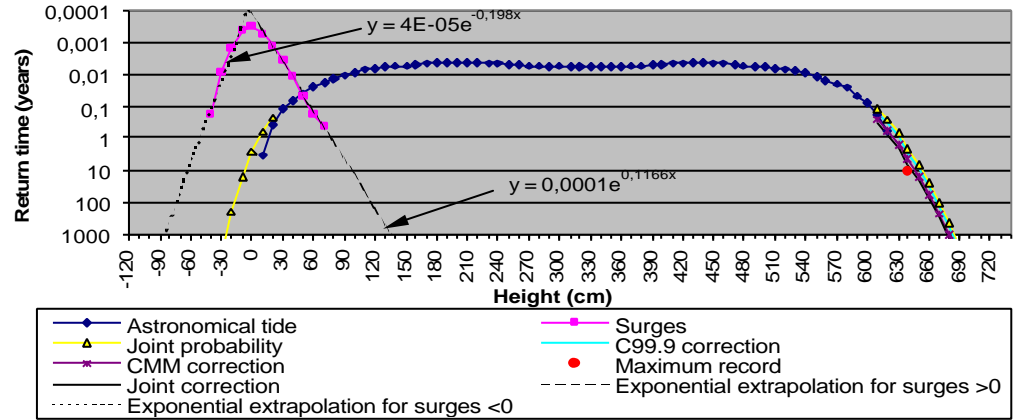
6. Les Sables-d'Olonne



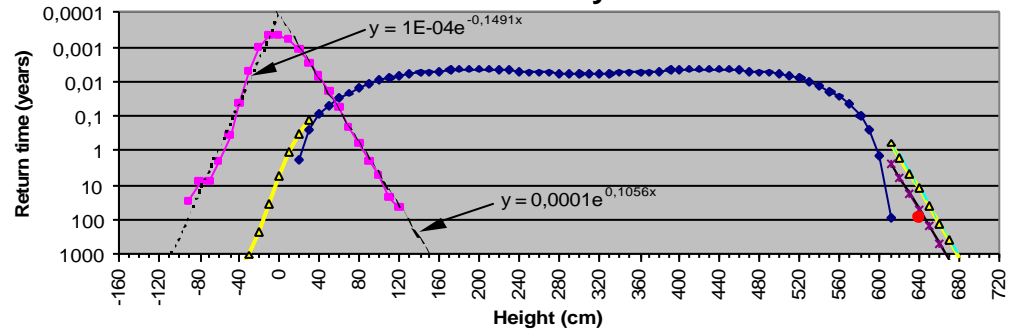


Dans les Cornouailles également, le niveau maximum mesuré se situe à proximité d'une courbe qui implique une forte correction des résultats obtenus par la méthode des probabilités combinées.

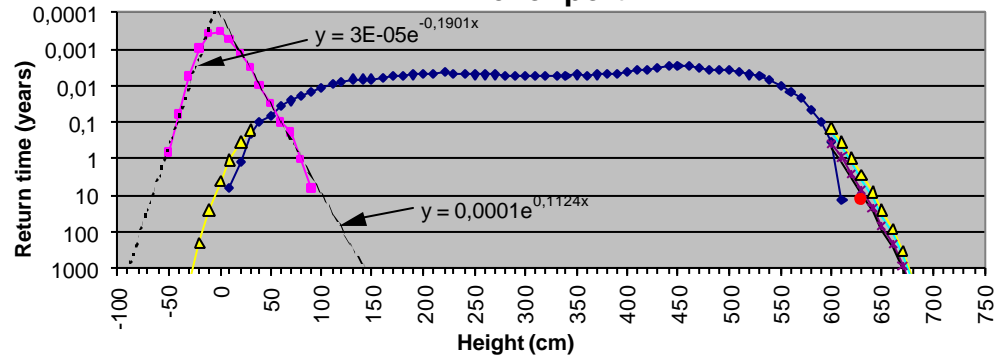
22. St. Mary's (Scilly)



23. Newlyn



24. Devonport



Estimation des hauteurs et des temps de retour (1)

Station	Longueur des séries (années pleines équivalentes)	Hauteur maximum mesurée (cm)	Hauteurs (cm) correspondant à un temps de retour égal à la longueur de la série disponible					Hauteurs (cm) proposées pour des temps de retour de:		
			JPM	C99,9	CS	CC	Gumbel	10 ans	50 ans	100 ans
1.SJL	11,4	510	511	512	505	505	n.d.	511	521	524
2.Bouc	27,4	505	533	513	524	505	513	506	511	519
3.Arc	4,1	500	501	493	495	487	n.d.	509	521	524
4. Pbl	14,9	625	643	632	634	622	n.d.	618	635	643
5.LRo	18,6	712	720	711	709	701	714	704	722	731
6.Olo	13,9	617	631	630	617	615	n.d.	613	631	638
7.Gil	23,3	621	638	636	627	625	629	617	632	640
8.Naz	21	634	660	657	650	647	640	638	657	665

Estimation des hauteurs et des temps de retour (2)

Station	Longueur des séries (années pleines équivalentes)	Hauteur maximum mesurée (cm)	Hauteurs (cm) correspondant à un temps de retour égal à la longueur de la série disponible					Hauteurs (cm) proposées pour des temps de retour de:		
			JPM	C99.9	CS	CC	Gumbel	10 ans	50 ans	100 ans
9.Tud	20,3	599	613	611	606	606	608	600	614	621
10.Cro	1,3	605	614	608	603	595	n/a	623	633	638
11.Conc	3,3	580	593	584	n/a	n/a	n/a	596	612	618
12.Bre	129,7	821	830	830	819	819	845	793	810	815
13.Conq	30,4	776	802	799	792	787	784	777	791	797
22.StM	10,3	644	652	651	645	643	n/a	645	658	662
23.Nwl	84,4	641	656	656	643	642	654	622	638	643
24.Dev	12,2	634	642	640	634	631	n/a	632	646	652

Comparaison entre les temps de retour proposés par ROSA 2000 et ceux fournis par la présente étude

Station	Cote IGN69 (cm) pour TR=100 ans (ROSA 2000)	Hauteur du zéro IGN69 au-dessus du ZH (cm)	Cote au-dessus du ZH pour TR=100 ans (ROSA 2000)	Temps de retour correspondant d'après la présente étude
Boucau	317 +	214 =	531 cm	304 ans
Arcachon	361 +	198 =	559 cm	>1000 ans
Brest	473 +	364 =	837 cm	1024 ans
Le Conquet	461,5 +	350 =	811,5 cm	540 ans

Conclusions

- Certaines hypothèses de la théorie des valeurs extrêmes ne sont pas satisfaites par les données marégraphiques, empêchant des estimations précises des temps de retour et des hauteurs de retour.
- La méthode des probabilités combinées permet de surmonter ces difficultés, même pour des enregistrements courts, mais tend à surestimer les hauteurs de retour.
- Ceci est dû: 1) à l'interaction entre la marée et les surcotes et 2) à une saisonnalité différente pour les marées extrêmes et les surcotes extrêmes.
- Nous avons déterminé pour chaque station des corrections empiriques qui tiennent compte de ces deux facteurs.
- Ceci permet une estimation plus fiable des temps de retour pour les niveaux d'eau extrêmes qui s'accorde avec les données disponibles.