



# À LA MESURE DU TEMPS

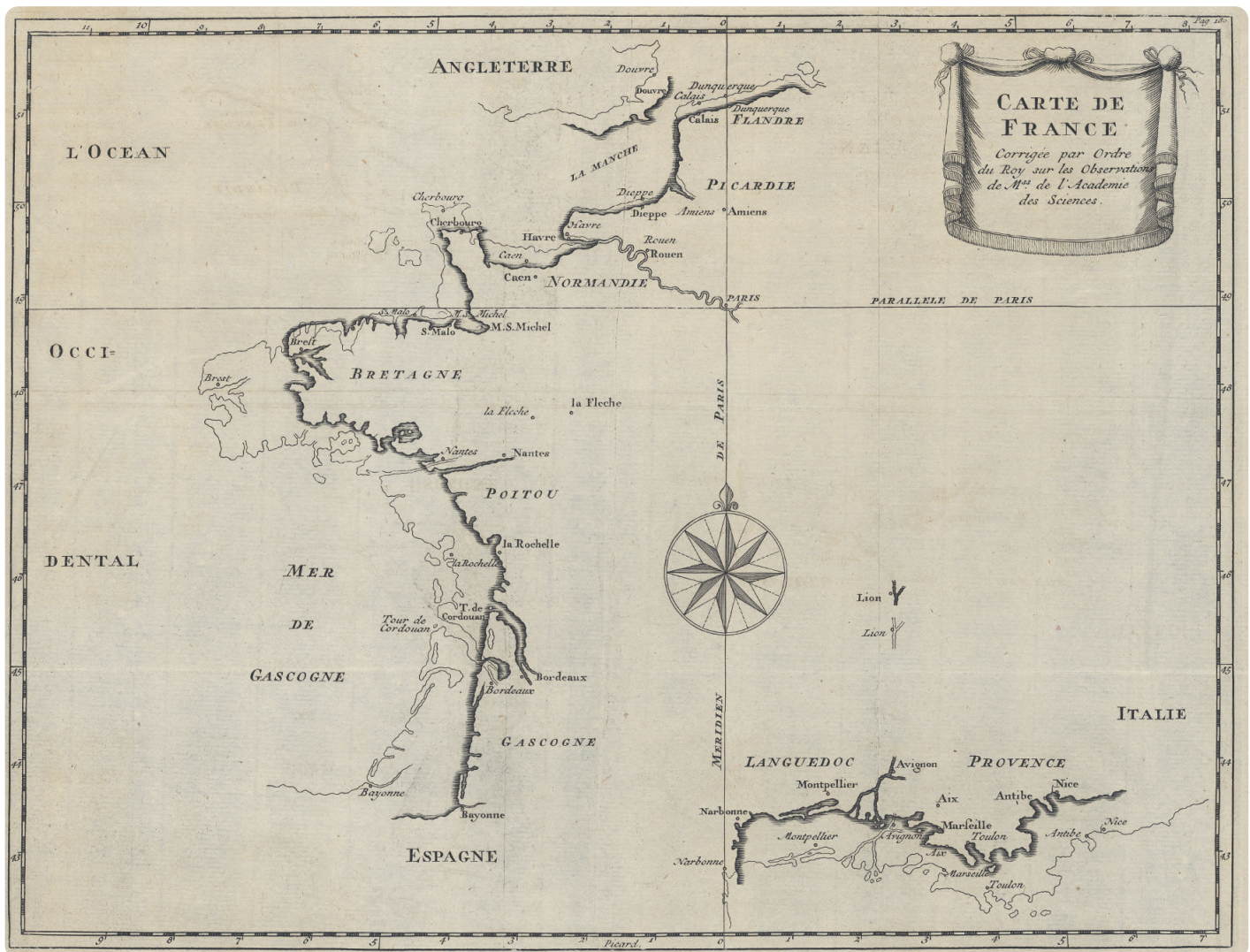
**L**a mesure du temps a toujours été une préoccupation des hommes depuis qu'ils ont pris conscience de son écoulement. Cette mesure a très vite permis d'organiser la société. Pour cela, les hommes ont créé des dispositifs de plus en plus ingénieux pour mesurer le temps à l'aide de phénomènes physiques bien choisis. Les liens entre la mesure du temps et l'astronomie sont d'ailleurs des plus anciens. C'est pour cette raison que la mesure du temps et la mesure de l'espace ont souvent été regroupées dans les observatoires astronomiques. Et cette intrication de l'espace et du temps est encore plus prégnante dans le cadre de la théorie de la relativité d'Einstein.



# INTRODUCTION

**L**ES MESURES DE L'ESPACE ET DU TEMPS ont toujours été intimement liées. L'une des premières missions confiées à l'Observatoire de Paris par Louis XIV, en 1667, fut la réalisation d'une carte de France précise qui sera publiée par La Hire en 1693. Pour ce faire, il fallait mesurer des longitudes qui dépendent d'un

méridien origine. Elles le seront à l'aide des observations des instants des éclipses des satellites de Jupiter par les astronomes du roi. Comment alors connaître la différence de longitude entre deux lieux sur la Terre ? Il était nécessaire pour cela de disposer de deux horloges situées en ces lieux et indiquant la même heure au même moment. Les



Carte de la France corrigée par Ordre du Roy sur les Observations de Messieurs de l'Académie des Sciences.

CC BY-NC-SA 3.0 Osher Map Library and Smith Center for Cartographic Education

tables de prédiction des éclipses des satellites de Jupiter étant alors publiées dans la *Connaissance des temps*, le voyageur pouvait comparer l'instant du phénomène à l'heure donnée par l'horloge dont il disposait et en déduire la longitude à laquelle il se trouvait. Et les résultats donnèrent une France plus petite que ce qu'elle était ! Ce qui fera dire à Louis XIV : « Ces chers messieurs de l'Académie, avec leurs grands travaux, m'ont coûté une partie de mon royaume et m'ont pris plus de territoire que tous mes ennemis réunis ! »

Malheureusement, cette méthode ne pouvait être appliquée en mer, car le pont d'un bateau n'était pas assez stable pour permettre l'observation de ces phénomènes.

Toujours au XVII<sup>e</sup> siècle, Huygens met au point l'horloge à pendule dans laquelle sera intégré un dispositif mécanique qui permet d'obtenir une seconde régulière, que l'on appelle l'« échappement ». Ce dispositif fut inventé vers 1670 par les Anglais Robert Hooke et William Clement. À cette époque, les horloges des observatoires étaient régulièrement réglées par l'observation du temps solaire à l'aide de lignes méridiennes.

Avec l'arrivée d'horloges mécaniques suffisamment fiables au XVIII<sup>e</sup> siècle, le problème de la détermination des longitudes en mer reviendra en s'inscrivant dans le cadre de la concurrence entre français et anglais pour la maîtrise des mers. La précision des horloges réglera le difficile problème de la détermination des longitudes et assurera des voyages en mer plus précis, donc plus rapides. Il faut se souvenir qu'une erreur de 15 minutes en longitude représente environ 300 km à la surface de la Terre.

Au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle, divers instruments (lunettes astronomiques, quarts-de-cercle) serviront à la détermination de l'heure par l'observation des étoiles, ce qui permet de déterminer le temps du Soleil, que l'on appelle *Temps solaire*, et de recalibrer les horloges par rapport à ce dernier.

Au XIX<sup>e</sup> siècle, la révolution industrielle permettra la production d'horloges en grande série. En particulier, l'essor de l'industrie ferroviaire aura un impact direct sur l'essor de l'industrie horlogère.

Dès 1858, le mathématicien italien Giuseppe Barilli proposera le système des 24 fuseaux horaires qui sera adopté en 1884 à la conférence de Washington.

L'heure variant d'une compagnie de chemin de fer à une autre, l'État français, par sa loi du 14 mars 1891, impose l'heure de Paris comme unique référence sur l'ensemble du territoire national. La France adoptera le système des fuseaux horaires en même temps que le méridien de Greenwich et l'heure universelle (temps moyen de Paris décalé de 9 min 21 s), le 9 mars 1911.

À partir des années 1910, l'émetteur de la tour Eiffel émettra à intervalles réguliers des signaux par Transmission sans fil (TSF). Les liaisons par TSF entre les observatoires permettaient de rectifier l'indication des horloges dans les différentes provinces. Fruit d'une collaboration entre le capitaine Ferrié et l'Observatoire de Paris, l'installation au sommet de la tour Eiffel du premier système de transmission de signaux horaires radiotélégraphique est effectuée avec l'horloger Louis Leroy.

L'ensemble du dispositif est piloté par deux horloges, appelées « pendules à pression constante », mises au point par Leroy lui-même. Atteignant une fiabilité au centième de seconde, elles étaient placées sous terre pour éviter les vibrations et étaient protégées par une imposante cloche de verre. Les horloges à pression constante sont alors les meilleures horloges jamais réalisées. Les pendules astronomiques Leroy installées à l'Observatoire de Paris enverront automatiquement l'heure par les antennes de la tour Eiffel dans un rayon de 5 000 kilomètres.

Des communications seront en particulier établies avec des navires. La tour Eiffel leur transmet





*Salle des pendules de temps sidéral – Bureau international de l'heure à l'Observatoire de Paris.*

*Crédits Bibliothèque de l'Observatoire de Paris*

l'heure, leur permettant ainsi de déterminer leur longitude en mer. Vers 1930, la plupart des observatoires astronomiques s'équipent d'horloges à pression constante.

En 1937, Nicolas Stoyko découvre les variations saisonnières de la rotation de la Terre par comparaison à des horloges à quartz (les pendules à pression constante assuraient la continuité de la mesure du temps par les quartz en cas de coupure de courant).

Encore dans les années 1950, les horloges à pression constante, puis les quartz, serviront à conserver l'heure entre deux déterminations astronomiques successives.

En 1955, la première horloge atomique à césium est construite en Angleterre au *National Physical Laboratory* (un premier prototype avait vu le jour

aux États-Unis, au *National Institute of Standards and Technology*, en 1949).

Jusqu'en 1960, la seconde était définie comme la fraction  $1/86\,400$  du jour solaire « moyen », ce jour étant la durée que met la Terre pour faire un tour sur elle-même par rapport au Soleil. L'échelle de temps associée est le Temps universel (TU). Puis en 1960, une nouvelle définition de la seconde et une nouvelle échelle de temps sont adoptées : le Temps des éphémérides (TE) basé sur le mouvement de révolution (autour du Soleil) de la Terre.

La seconde du TE, définie comme une fraction de l'année « tropique » en 1900 (une année tropique 1900 vaut  $31\,556\,925,9747$  s de TE), fut elle-même calée sur la seconde du TU de cette époque, c'est-à-dire la 86 400<sup>e</sup> partie du jour solaire moyen, fixée conventionnellement comme constante.



À partir de 1967, la seconde devient une unité de la physique et la mesure du temps quitte le domaine de l'astronomie. Elle est définie grâce à la fréquence (un nombre de cycles par seconde) d'une onde électromagnétique qui va interagir avec un atome de césium. Cette interaction fait passer l'atome de césium d'un niveau d'énergie à un autre seulement lorsque la fréquence de l'onde est exactement celle de la définition. Un nombre de cycles par seconde ayant été choisi conventionnellement, cela fixe par définition la durée de la seconde.

### DÉFINITION OFFICIELLE

« La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133. »

Ce nombre entier de périodes fut choisi pour égaler la seconde du Système international d'unité (SI) à

celle qui la précédait de 1960 à 1967 (la seconde de TE) dans la barre d'incertitude de cette dernière.

En 1988, le Bureau international de l'heure, fondé en 1912, dont le siège était à l'Observatoire de Paris, sera fermé. C'est en 1964 que le BIH a introduit le Temps atomique via le Temps universel coordonné (UTC). Jusque dans les années 1970, le BIH fera encore la synthèse des observations astronomiques dans le monde (75 instruments vers 1970) pour donner l'heure déterminée par l'astronomie. En 1971, la reconnaissance de l'échelle de Temps atomique du BIH sera apportée par la 14e Conférence générale des poids et mesures (CGPM) qui lui attribuera le nom de Temps atomique international (TAI). Cette décision entraînera le transfert de la détermination du TAI au BIPM, la détermination du Temps atomique français (TA(F)) étant transférée au Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences à l'Observatoire de Paris. Les travaux concernant la rotation de la Terre seront, eux, repris par le Service international de la rotation de la Terre (IERS).



*Salle des horloges atomiques au bâtiment B de l'Observatoire de Paris – juin 1984.*

*Crédits Bibliothèque de l'Observatoire de Paris*

Au cours des années 1990, les fontaines à atomes de césium refroidis par laser, étalons primaires de fréquence qui constituent la forme la plus perfectionnée à ce jour des horloges atomiques à césium, ont été développées et mise en exploitation à l'Observatoire de Paris.

Depuis le début du xx<sup>e</sup> siècle, l'espace et le temps sont intimement liés dans le cadre de la relativité d'Einstein (restreinte établie en 1905 et générale établie entre 1907 et 1915). Nous y reviendrons aussi !

Les travaux du LTE s'inscrivent dans ce cadre et sont la continuation des travaux historiques entrepris à l'Observatoire de Paris depuis sa construction par Louis XIV.

C'est cette histoire de la mesure du temps liée à la mesure de l'espace que l'on se propose de retracer sommairement ici.

Nous reviendrons dans les épisodes ultérieurs sur la notion d'échelles de temps en astronomie (Temps solaire, Temps moyen, année tropique...) et en physique (Temps atomique).

Plusieurs épisodes se succéderont à la suite de cette introduction et décriront les premiers instruments de la mesure du temps (gnomon, cadrans solaires, clepsydre...) et les plus modernes (horloges atomiques), en passant par les applications de la mesure du temps à la vie quotidienne et à la recherche en astrophysique. ■