

TOUR DE 18 PENDULES DE FOUCAULT

Jean-Loup Cordonnier, responsable du pôle ingénierie et ressources pédagogiques de l'IMT Nord Europe / jean-loup.cordonnier@imt-nord-europe.fr

Avec la collaboration de **Marc Bonnaure, Claude Ghyselen, Jérôme Brossard, Pierre Lauginie, Christophe Giuliana** et de l'illustrateur **Jean Faessel**.

Ce tour des pendules de Foucault a été réalisé par une équipe réunissant étudiants, enseignants et alumni (anciens élèves) de l'IMT Nord Europe, des cadres du Musée de la Chartreuse à Douai, des bénévoles issus d'associations, des conseillers scientifiques. Cette initiative s'inscrit dans le cadre du projet de pendule de Foucault installé au musée de la Chartreuse de Douai, où il sera présenté jusqu'en mai 2026. Nous avons été accompagnés par un guide jovial Léon Foucault en caricature.

Mais pourquoi faire un tel tour ? Pour comprendre leur réussite

Pour réussir notre pendule, il semblait nécessaire de voir la démarche de nos prédécesseurs. En fait tous sont partis d'un constat. Actuellement, tout le monde sait que la Terre tourne sur elle-même.

Alors pourquoi chercher une preuve locale par un pendule ? Simplement, parce que chacun a besoin de sentir qu'il est entraîné dans cette valse terrestre.

L'expérience montre la déviation du plan d'oscillation du pendule due à la force de Coriolis sur Terre, qui est un effet de la rotation de la Terre par rapport à un référentiel inertiel. Elle s'ajoute aux autres déviations connues : les courants marins, les alizés, les ouragans, les boulets de canon etc. Le pendule a l'avantage d'une démonstration « à portée de main ».



Pour voir des pendules vivants

Nous voulions apprécier leurs animations diverses par médiateurs, affiches, notices, maquettes et plateaux, et mesurer les durées et l'attractivité de leurs expositions permanentes de 10 ans à 140 ans, ou temporaires de 2 jours à 2 ans.

Enfin nous avons été surpris par l'importance de la mise en scène et de l'ambiance de la salle. Ces vies de pendules sont passées en revue dans le tour des animations (en annexe sur le site du CLEA).



Pour analyser leur construction

Nous avons cherché la logique des constructions similaires.

Au premier regard, la diversité des pendules existants réside principalement dans leur longueur (de 1,2 m à 67 m) et au fait qu'ils sont soit à oscillations libres avec des lâchers manuels répétés (7 sur 18), soit à oscillations entretenues par une bobine au centre de la table et un aimant fixé sous la boule ou plus rarement en partie haute.

D'un point de vue technique, on constate une diversité des choix concernant les points principaux suivants :

- les boules de 50 à 20 kg sont utilisées pour les lâchers manuels, celles de 28 à 7 kg pour les oscillations entretenues. La boule peut être suspendue à un câble monobrin ou un câble à multibrins tressés en acier ou à un fil en polypropylène ;
- la fixation de la suspension peut être soit un encastrement simple (serrage par mandrin par exemple), soit un encastrement simple suivi d'un passage dans une rondelle percée ajustée au diamètre du câble, soit d'une rotule ou d'un pointeau dans une crapaudine ;
- l'ancrage de cette fixation haute est fait sur des poutres, des plafonds et il nécessite un soin particulier en termes de rigidité.

Pour diminuer l'ellipticité du mouvement les pendules les plus courts peuvent être équipés d'un anneau de Charon placé en partie inférieure de la suspension.

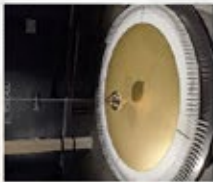
Pour les pendules entretenus, le passage au centre est détecté par des capteurs à effet Hall (détection de courant de Foucault induit) ou par capteur infrarouge détectant le rayon du laser embarqué dans la boule.

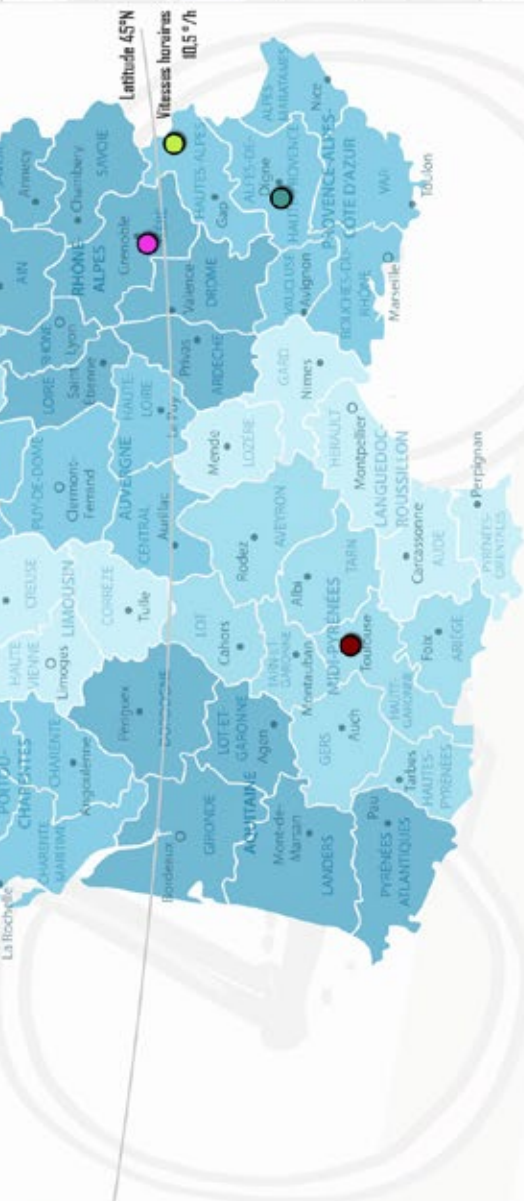
La visualisation de la rotation du plan d'oscillation est réalisée soit par la chute de quilles, par système de visée ou par allumage de leds en périphérie de la table piloté par des capteurs.



Suite page 42

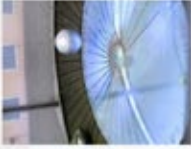
48,72 °N	48,85 °N	48,85 °N	50,37 °N	50,62 °N
PALAISEAU - Fixation haute sur poutre treillis. - Câble de 1,5 mm et de longueur cal. 4 m. Avec cylindre poids 10 kg. - Aller-retour mes. 5,3 s. - Entretien par électroaimant & Capt. Optique. - Amplitude / centre 0,5 m. - Rotation horaire théo. 11,3 °/h	PARIS ARTS & METIERS - Fixation haute standard. - Câble de 1 mm et de longueur cal. 17 m. Avec boule de 19 kg. - Aller-retour 8,8 s. - Entretien bas par électroaimant & Capt. Optique. - Amplitude / centre 2 m. - Rotation horaire théo. 11,3 °/h	PARIS PANTHEON - Fixation haute par pincement et serre-fil. - Câble de 1 mm et de longueur cal. 67 m. Avec boule de 28 kg. - Aller-retour 16,5 s. - Lancement manuel. - Amplitude / centre 3 m. - Rotation horaire théo. 11,3 °/h	DOUAI CHARTREUSE INT - Fixation haute standard sur entrail. - Fil acier ressort d'1 mm de longueur cal. 16,2 m. Avec boule plomb dans coque 21 kg, style bas avec aimant. - Aller-retour mes. 8,07 s. - Entretien par électroaimant bas avec détection par capteur Hall. - Amplitude / centre 1 m. - Rotation horaire théo. 11,58 °/h	VILLENEUVE D'ASCO HERON CARL - Fixation haute standard par cavalier sur entrail. - Fil acier d'1,3 mm et de longueur cal. 8 m. Boule plomb dans coque 20 kg. - Aller-retour mes. 5,7 s. - Lancement par cordon brûlé. - Amplitude / centre 2 m. - Rotation horaire théo. 11,6 °/h
ORSAY Faculté des Sciences - Fixation haute nœud + anneau Char. - Fil polypro. de 0,8 mm et de longueur cal. 1,2 m. Cylindre poids de 0,250 kg. - Aller-retour mes. 2,1 s. - Entretien magnétique bas + Capteur optique ombre. - Amplitude / centre 0,075 m. - Rotation horaire théo. 11,3 °/h	Un tour technique des pendules			MONS COLLEGEIALE UNIV - Fixation haute entre poutres par pincement + serre fil. - Câble d'1,5 mm torsadé de longueur cal. 25 m. Avec boule acier 42 kg. - Aller-retour mes. 10 s. - Lancement par cordon brûlé. - Amplitude / centre 2,2 m. - Rotation horaire théo. 11,6 °/h
LE HAVRE BU - Fixation haute standard sur poutre triangulaire. - Fil ressort d'1 mm et de longueur cal. 20,8 m. Avec boule plomb dans coque de 20 kg. - Aller-retour mes. 9,15 s. - Entretien par électroaimant et capteur optique. - Amplitude / centre 1 m. - Rotation horaire théo. 11,4 °/h				STRASBOURG INSTITUT - Fixation haute sur poutre puis pointeau sur anneau. - Fil d'1 mm de longueur cal. 14,64 m. Cylindre tronqué pesant 23 kg. - Aller-retour mes. 7,67 s. - Lancement manuel. - Amplitude / centre 1,2 m. - Rotation horaire théo. 11,25 °/h

MORLAIX ESPACE DES SCIENCES 48,58 °N - Fixation haute. Inox 40 kg avec anneau Char. - Câble torsadé d'1,5 mm et de longueur mes. 11,83 m. Avec boule ovoïde de 25 kg. - Aller-retour cal. 6,9 s. - Entretien électroaimant bas avec capteur. - Amplitude / centre 1 m. - Rotation horaire mes. 11,25°/h	
BOURGES INSA CENTRE LOIRE 47,08 °N - Fixation haute sur charpente métallique. - Câble de 2 mm et de longueur cal. 9 m. Avec boule laiton de 8 kg. - Aller-retour mes. 6 s. - Entretien électroaimant et capteur. - Amplitude / centre 1 m. - Rotation horaire théo. 11,0°/h	
TOULOUSE JOLIMONT SAP 43,6 °N - Fixation haute par pinoement. - Fil d'1 mm de longueur cal. 9,3 m. Avec boule de 27 kg. - Aller-retour mes. 6,12 s. - Lancement manuel. - Amplitude / centre 1 m. - Rotation horaire théo. 10,4°/h	



IMT Nord Europe
Ecole Mines-Télécom
IMT-Université de Lille

Les photos de ce tour ont été autorisées pour des publications pédagogiques par les 18 propriétaires des pendules. Les droits d'auteurs à mentionner sont : © Musée des Arts et Métiers-Champhoto Michèle Favarelle / © maire de Saitron / © Besançon, musée du Temps, photographie Pierre Guenaf / © Besançon, musée du Temps, photographie Thierry Saillard

MULHOUSE FONDERIE CAW 47,73 °N - Fixation haute par cavalier sur poutre béton inclinée puis 2 plateaux horizontaux. - Fil d'1 mm de longueur cal. 16 m. Avec cylindre tronquée acier 20 kg. - Aller-retour mes. 8 s. - Lancement par cordon brûlé - Amplitude / centre 2,35 m. - Rotation horaire théo. 11,1°/h	
MONTBELIARD PRÉS- LA-ROSE 47,50 °N - Fixation haute rotule. - Fil de 2 mm de longueur cal. 10 m. Avec boule 28 kg. - Aller-retour mes. 6,34 s. - Entretien électro aimant bas. - Amplitude / centre 1 m. - Rotation horaire cal. 11,08°/h - Expo. permanente extérieure sous pyramide.	
BESANCON MUSEE DU TEMPS ENSMM 47,2 °N - Fixation haute rigide sur charpente + An Charron. - Câble d'1,5 mm torsadé de longueur cal 13,1 m. Avec boule de 17,5 kg. - Aller-retour mes. 7,3 s. - Entretien par électroaimant avec capteur central. - Amplitude / centre 0,75 m. - Rotation horaire théo. 11,02°/h - Expo. Permanente rénovés 2022.	
PONT DE CLAIX - COSMOCITE 45,12 °N - Fixation sur plafond béton accessible. - Câble 1,5 mm torsadé de longueur cal. 14 m. Avec boule de 25 kg. - Aller-retour mes. 7,5 sec. - Entretien par électroaimant haut. - Amplitude / centre : 1 m. - Rotation horaire théo. 10,62°/h	
BRIANCON COLLEGEIALE HDA 44,99 °N - Fixation haute dans poutre bois et noeu. - Câble 3 mm torsadé de longueur mes.18,625 m. Avec-cylindre pesant 53 kg. - Aller-retour mes. 8,66 s. - Lâcher manuel et visée. - Amplitude / centre 2 m. - Rotation horaire théo. 10,6°/h	
SISTERON MUSEE TERRE & TEMPS 44,2 °N - Fixation haute standard + anneau Char. - Fil d'1 mm de longueur cal. 9,55 m. Avec boule 10 kg. - Aller-retour mes. 6,2 s. - Entretien par électroaimant bas et capteur. - Amplitude / centre 0,65 m. - Rotation horaire théo. 10,6°/h	

Pour observer leur fonctionnement

Nous voulions aller plus loin qu'une simple visite et donc nous avons observé attentivement les mouvements des pendules et les anomalies.

L'oscillation, c'est l'aller-retour de la boule. Son lâcher est manuel ou par brûlage de cordon ou par coupure d'électro-aimant.

Sans entretien le pendule a une autonomie limitée à quelques heures, mais ceci suffit aux présentations avec des médiateurs.

L'amplitude d'oscillation, c'est la distance du centre au point de rebroussement évaluée en mètre depuis le centre du plateau ou, éventuellement, en degré depuis l'axe du pendule.

Par observation, l'oscillation est plus régulière pour des amplitudes proches de 5° . La période est mesurée en secondes pour un aller-retour de la boule.

La rotation du plan d'oscillation se fait dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Nord et à une vitesse caractéristique de la latitude.

Dans cette étude, la vitesse de rotation horaire théorique du plan d'oscillation est exprimée en degré par heure. Elle est liée à la latitude du lieu, soit $15^\circ/\text{h}$ au pôle Nord et $0^\circ/\text{h}$ à l'équateur. Pour notre tour, elle s'étale de $11,5^\circ/\text{h}$ au nord à $10,6^\circ/\text{h}$ au sud. Le tour technique (pages 40 et 41) présente ces différentes caractéristiques techniques.



Moralité !

Il a fallu beaucoup de persévérance aux concepteurs de ces pendules pour aboutir à une réalisation capable de rendre évidente la rotation de la Terre.

Même si l'accent n'est pas mis sur ce fait, les pendules ne fonctionnent pas exactement comme le prédit la théorie de Foucault et c'est normal.

Les pendules simples de 10 m de hauteur et de 0,5 m d'amplitude par exemple, sans entretien, bien équilibrés permettent des démonstrations horaires assez faciles.

Par contre, la persévérance ne suffit pas à mener à bien des projets avec de l'entretien ou des hauteurs plus faibles. Les problèmes techniques à résoudre pour obtenir un résultat acceptable nécessitent des compétences en mécanique et en électronique.

La médiation auprès du public, si elle a lieu, nécessite aussi des compétences dans l'élaboration des moyens et dans la transmission pédagogique. Le plus souvent ces compétences sont réunies par la construction d'un groupe motivé par la vulgarisation.

Nous espérons que ces expériences partagées permettent de lever bon nombre de difficultés de réalisation et d'entraîner les visiteurs curieux. C'étaient bien là les objectifs de ce tour.

