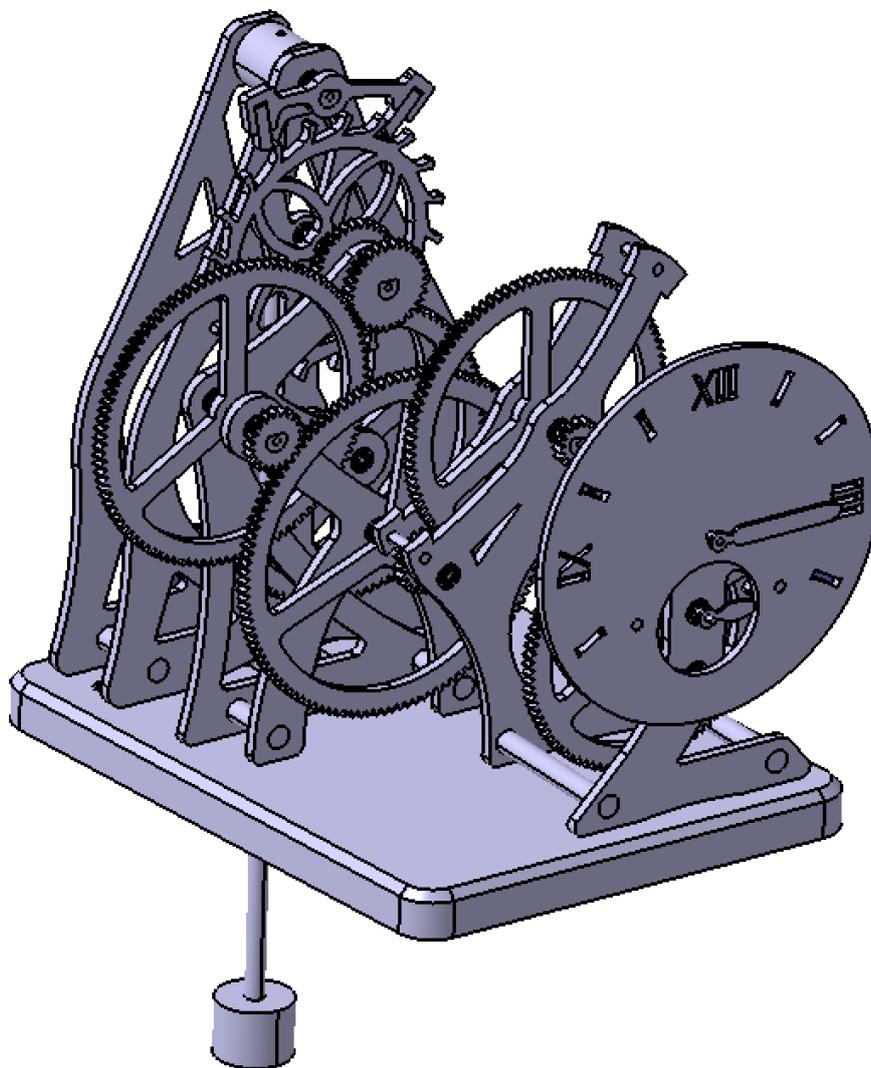


SAE 4.2 - Utiliser des concepts existants pour renouveler



Echappement à ancre

Sommaire

MISE EN SITUATION

P1

ECHAPPEMENT A ANCRE

P1

- 1) Historique du système étudié
- 2) Analyse de l'existant

ANALYSE DU SYTEME EXISTANT

P3

- 1) Schéma cinématique
- 2) Rapport de réduction
- 3) Autres calculs

CAHIER DES CHARGES DU PROJET

P5

- 1) Diagramme des prestations
- 2) Diagramme FAST
- 3) Diagramme des interacteurs
- 4) Diagramme de Gantt

RECHERCHE DE SOLUTION

P7

- 1) Amélioration 1 – Miniaturiser le système
- 2) Amélioration 2 – Améliorer l'autonomie

NOUVEAU SYSTEME

P11

- 1) Schéma cinématique
- 2) Nomenclature
- 3) Diagramme FAST
- 4) Estimation du cout
- 5) Calcul de l'autonomie

BILAN

P16

MISE EN SITUATION

L'objectif de cette SAE est de faire évoluer un concept de produit sans rechercher de concept technique nouveau. Dans notre cas, nous devons travailler sur un mécanisme d'horlogerie dont le système d'échappement à ancre ou l'ensemble de réduction. L'objectif est de miniaturiser le système existant afin de le rendre moins encombrant ainsi que d'augmenter son autonomie de fonctionnement.

ECHAPPEMENT A ANCRE

1) Historique du système étudié

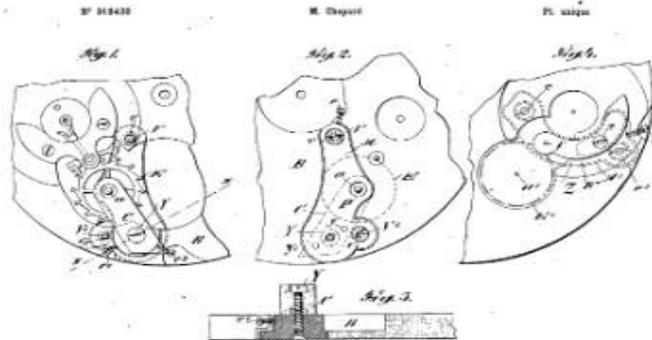
L'échappement à ancre, élément fondamental de l'horlogerie, a transformé la mesure du temps depuis son invention au 17ème siècle. En 1657, Robert Hooke propose les premières idées de ce mécanisme, tandis que Thomas Tompion contribue à son développement et à sa diffusion. En 1715, George Graham améliore l'échappement à ancre en introduisant l'échappement à ancre à recul, augmentant ainsi la précision des horloges. Puis, en 1754, Thomas Mudge révolutionne l'horlogerie en inventant l'échappement à ancre libre, éliminant le recul pour une régulation encore plus précise. Au cours des 19ème et 20ème siècles, l'échappement à ancre devient la norme, bénéficiant de matériaux antifriction et de techniques de fabrication de précision. Malgré l'avènement des montres à quartz dans les années 1970, ce mécanisme reste essentiel dans les montres mécaniques de luxe. En 1974, George Daniels développe l'échappement Co-Axial, commercialisé par Omega, qui réduit encore plus le frottement et améliore la précision. Aujourd'hui, l'échappement à ancre continue de symboliser l'alliance de la tradition et de l'innovation dans la haute horlogerie.

2) Analyse de l'existant

Sur le site de Data INPI, nous pouvons retrouver tous les brevets qui ont été déposés aux cours des années passées. En recherchant ceux déposés en lien avec l'échappement à ancre, nous pouvons en trouver 110 déposés entre 1902 et 2021. Parmi ces 110 brevets, il y en a 30 déposés au niveau européen, 64 en France et 16 au niveau international. Ces résultats sont uniquement pour les brevets comportant le nom « échappement à ancre » dans leur intitulé. Il est possible de trouver d'autres brevets liés à ce système en modifiant la recherche sur le site. Des brevets ont été déposés avant 1902 mais ils ne sont pas répertoriés sur ce site. Nous pouvons remarquer que de 1902 à 1987 il n'y a que des brevets français. C'est seulement le 4/11/1987 que l'on trouve le premier brevet européen. Le 1er brevet international arrive seulement en 2007. De plus, nous constatons qu'il y a de nouveaux brevets très régulièrement, presque tous les ans. La plupart de ces brevets sont utilisés pour l'amélioration du fonctionnement des montres. Cela montre que l'échappement à ancre est un système en constante évolution afin qu'il s'adapte aux différents besoins en horlogerie.

Exemple d'un brevet de 1902 :

Ce brevet s'intitule « Perfectionnement aux échappements à ancre fixe des montres ». Il a été déposé le 15/10/1902 par un Français nommé CHOPARD. Voici ci-dessous le schéma représentant l'idée :



Exemple d'un brevet de 2021 :

Ce brevet s'intitule « Mécanisme d'échappement à ancre de repos et pièce d'horlogerie dotée d'un tel mécanisme d'échappement ». Il a été publié le 24/02/2021. Voici ci-dessous la première page du brevet ainsi que le résumé de l'idée.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(39) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
24 octobre 2019 (24.10.2019)

(10) Numéro de publication internationale
WO 2019/201976 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G04B 15/14 (2006.01) G04B 15/08 (2006.01)

(71) Dépositaire : DOMINIQUE RENAUD SA [CH/CT]; Chemin du Canal 3, 1029 Renens (CH)

(72) Inventeur : RENAUD, M. Dominique ; Rue des Fosses, 1110 Morges (CH)

(74) Mandataire : BLANCHARD, Eugène ; Bovard SA Neuchâtel, Rue des Noyers 11, 2000 Neuchâtel (CH)

(54) Titre : ESCAPEMENT MECHANISM WITH A REST LEVER AND TIMEPIECE PROVIDED WITH SUCH AN ESCAPEMENT MECHANISM

(54) Titre : MÉCANISME D'ÉCHAPPEMENT À ANCRE DE REPOS ET PIÈCE D'HORLOGERIE DOTÉE D'UN TEL MÉCANISME D'ÉCHAPPEMENT

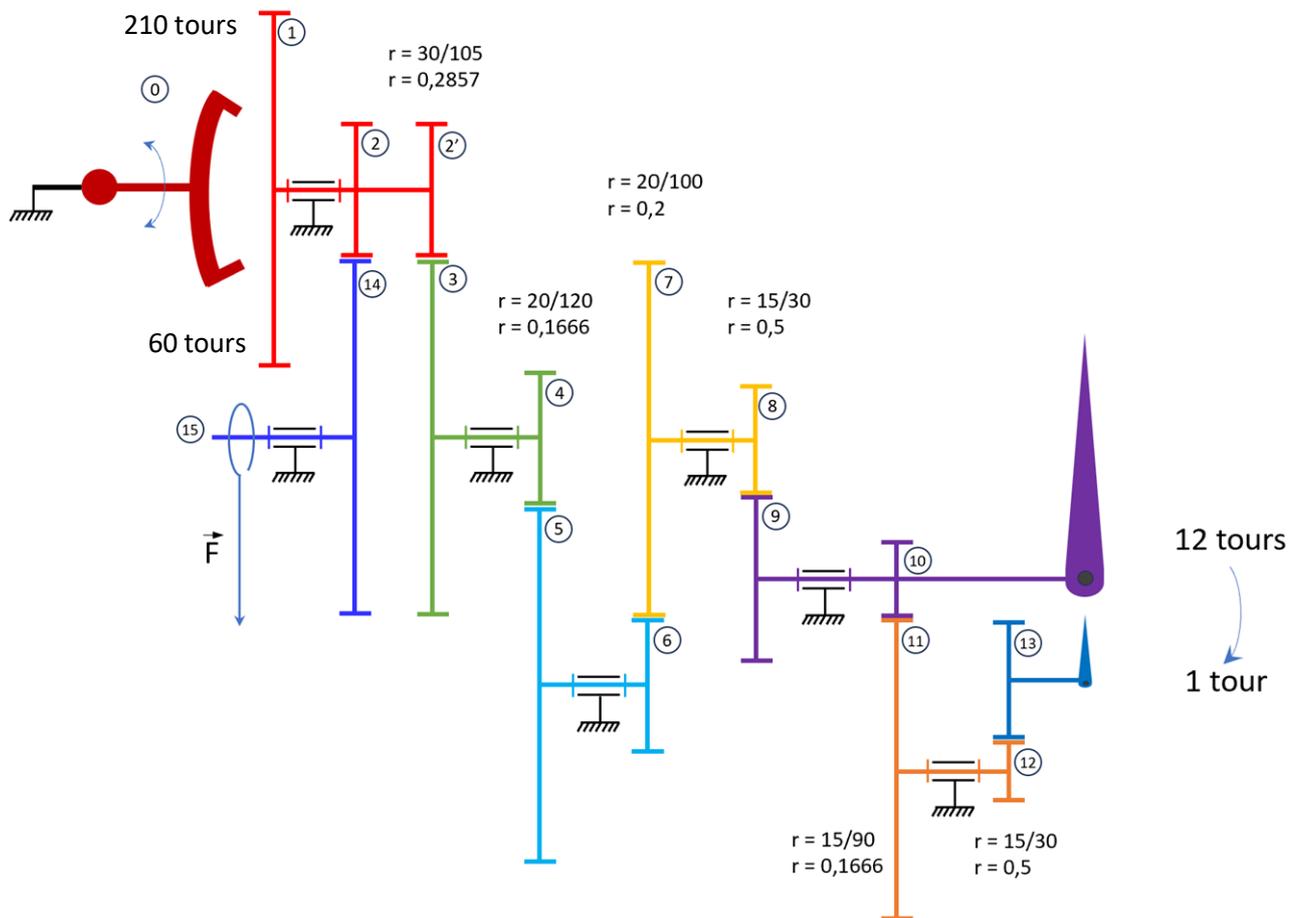
(57) Abstract: An escapement mechanism (1) with a rest lever for a timepiece comprising a regulator component (2) of the balance-and-spring type, comprising an escapement wheel (3) provided with a series of peripheral teeth (31), and a rest lever (5) comprising a first and a second rest pallet (52, 53) respectively arranged at one end of a first and of a second arm and capable of alternately engaging a tooth of the escapement wheel (3) with every stepped rotation of the escapement wheel and of the lever about their respective axes of rotation. According to the invention, this mechanism comprises at least one impulse pallet (21, 22) which can be mounted on the regulator component (2) in order to transfer an impulse by sliding a tooth of the escapement wheel on an impulse plane (p) of said impulse pallet once in at least every two oscillations of said regulator component, whereas the rest lever comprises a member (51) for permanent rotational kinematic linking to said regulator component. The invention also relates to a timepiece comprising such an escapement mechanism.

(57) Abrégé : Mécanisme d'échappement (1) à ancre de repos pour une pièce d'horlogerie comportant un organe régulateur (2) de type balancier spiral, comportant un mobile d'échappement (3) doté d'une série de dents (31) périphériques, et une ancre de repos (5) comportant une première et une seconde palettes de repos (52, 53) agencées respectivement à une extrémité d'un premier et d'un second bras et aptes à engager alternativement une dent du mobile d'échappement (3) à chaque pas de rotation du mobile d'échappement et de l'ancre autour de leur axe de rotation respectif. Selon l'invention, ce mécanisme comporte au moins une palette d'impulsion (21, 22) apte à être fixée sur un dit organe régulateur (2) pour transmettre une impulsion par glissement d'une dent du mobile d'échappement sur un plan d'impulsion (p) de ladite palette d'impulsion une fois au moins toutes les deux oscillations dudit organe régulateur alors que l'ancre de repos comporte un membre (51) de liaison cinématique permanente en rotation au dit organe régulateur. L'invention concerne également une pièce d'horlogerie comportant un tel mécanisme d'échappement.

(57) Abrégé : Mécanisme d'échappement (1) à ancre de repos pour une pièce d'horlogerie comportant un organe régulateur (2) de type balancier spiral, comportant un mobile d'échappement (3) doté d'une série de dents (31) périphériques, et une ancre de repos (5) comportant une première et une seconde palettes de repos (52, 53) agencées respectivement à une extrémité d'un premier et d'un second bras et aptes à engager alternativement une dent du mobile d'échappement (3) à chaque pas de rotation du mobile d'échappement et de l'ancre autour de leur axe de rotation respectif. Selon l'invention, ce mécanisme comporte au moins une palette d'impulsion (21, 22) apte à être fixée sur un dit organe régulateur (2) pour transmettre une impulsion par glissement d'une dent du mobile d'échappement sur un plan d'impulsion (p) de ladite palette d'impulsion une fois au moins toutes les deux oscillations dudit organe régulateur alors que l'ancre de repos comporte un membre (51) de liaison cinématique permanente en rotation au dit organe régulateur. L'invention concerne également une pièce d'horlogerie comportant un tel mécanisme d'échappement.

ANALYSE DU SYTEME EXISTANT

1) Schéma cinématique



Roue	Z1	Z2	Z2'	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14
Nombre de dents	20	30	30	105	20	120	20	100	15	30	15	90	15	30	105

2) Rapport de réduction

Rapport de réduction total de la bobine à l'aiguille des minutes

$$r = \frac{Z14 \times Z22' \times Z4 \times Z8}{Z2 \times Z3 \times Z5 \times Z7 \times Z9} = \frac{105 \times 30 \times 20 \times 20 \times 15}{30 \times 105 \times 120 \times 100 \times 30} = \frac{18\,900\,000}{1\,134\,000\,000} = 0,01666$$

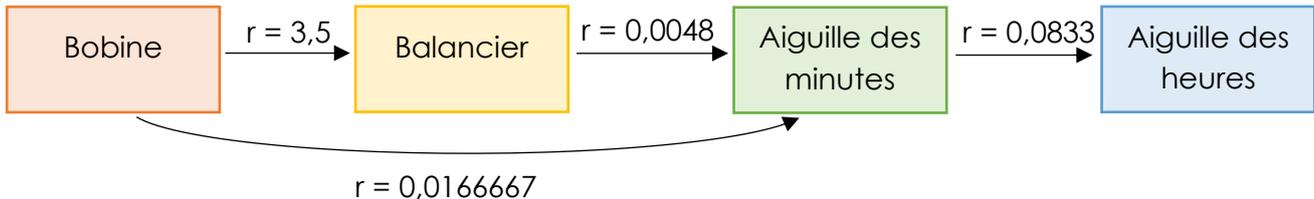
Pour que la grande aiguille fasse 1 tour, la roue qui a la bobine doit faire :

$$\frac{12}{0,01666} = 60 \text{ tours}$$

Rapport de réduction de l'aiguille des minutes à l'aiguille des heures

$$r = \frac{Z_{10} \times Z_{12}}{Z_{11} \times Z_{13}} = \frac{15 \times 15}{90 \times 30} = 0,0833$$

Bilan



3) Autres calculs

Module des engrenages

Il est possible de calculer le module des engrenages grâce à la formule :

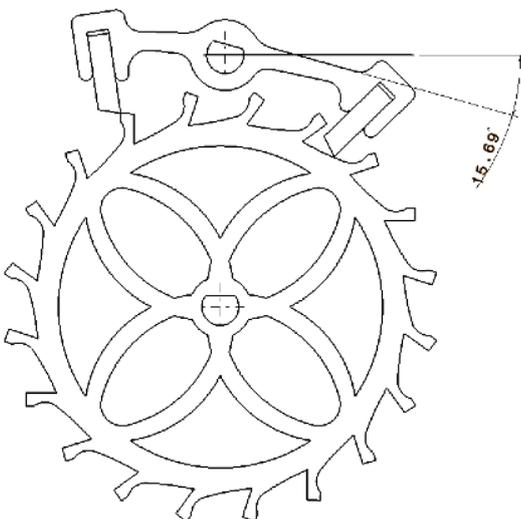
$$\text{Hauteur d'une dent} = 2,25 \times \text{module}$$

En choisissant une roue du système, on obtient un module égal à 1,5.

Autonomie

A partir du \varnothing de la bobine en prenant pour hypothèse que la corde mesure 1 mètre, nous pouvons déterminer l'autonomie. La bobine a un diamètre de 15 mm et un périmètre de 47,12 mm. Nous pouvons donc déterminer combien de tour fait la corde. Ici, la corde va faire 21,22 tours. Sachant que 1 tours correspond à une minute, le système aura une autonomie de 21 minutes.

Oscillation de l'échappement à ancre



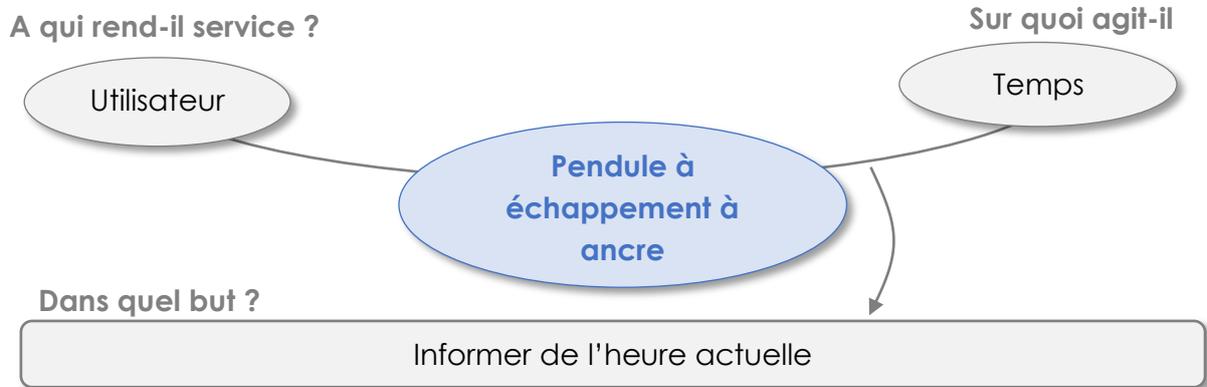
L'angle que le pendule oscille pour que l'échappement à ancre fonctionne est de $31,28^\circ$.

Nous avons également calculé sa période :

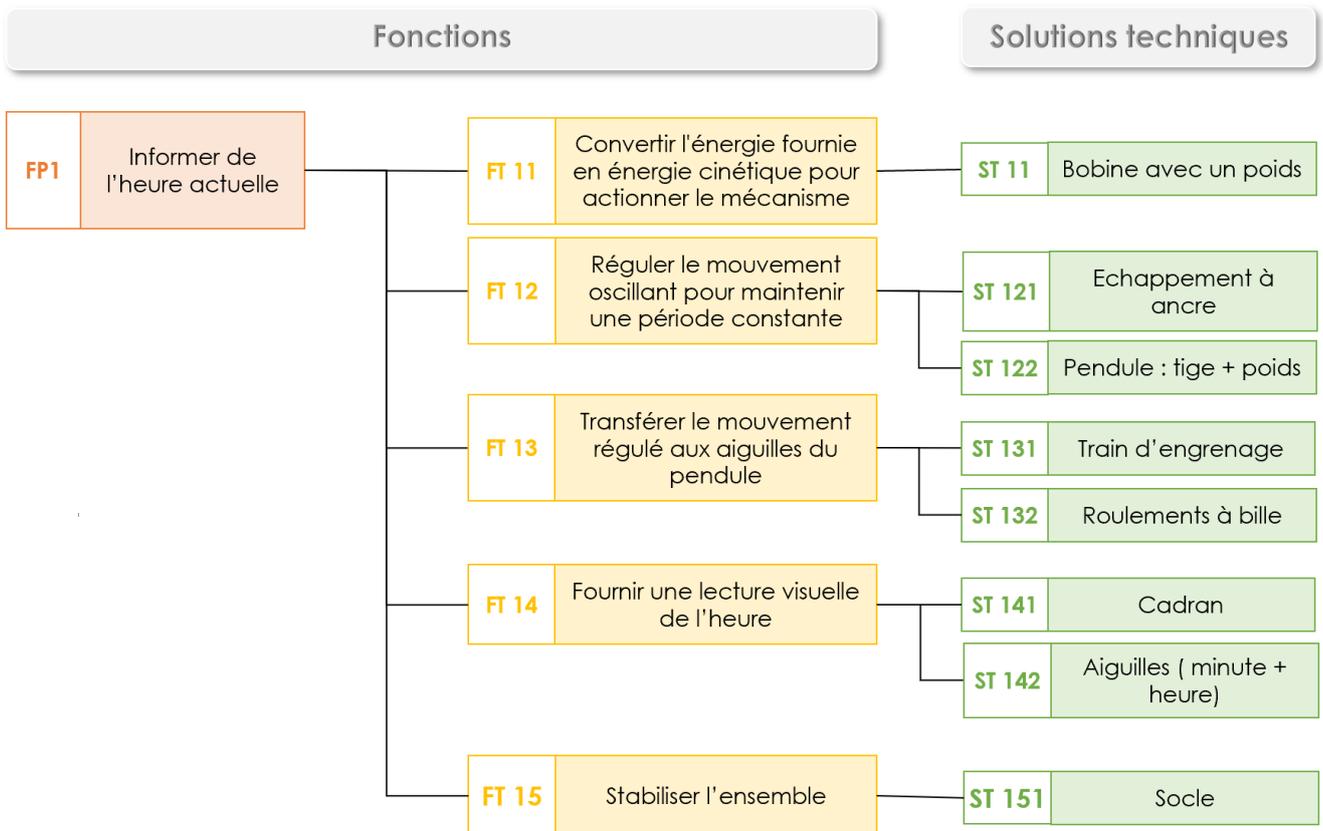
$$T_0 = 2\pi \sqrt{\left(\frac{l}{g}\right)} = 1.4185 \text{ secondes}$$

$$T = T_0 \left(1 + \frac{\theta_0^2}{16}\right) = 1.452 \text{ secondes}$$

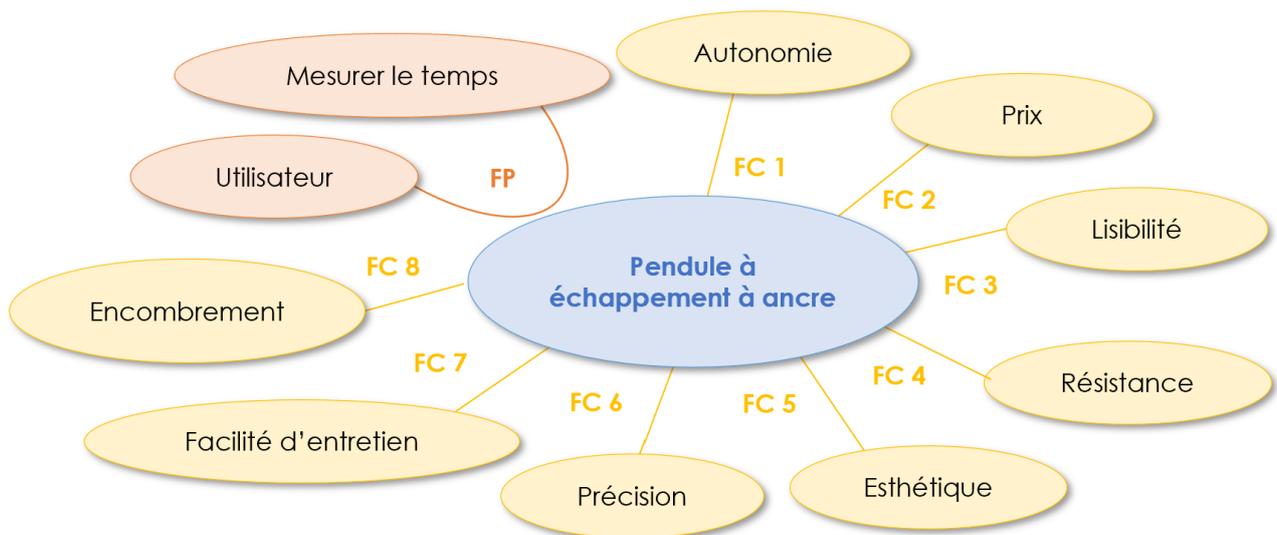
1) Diagramme des prestations



2) Diagramme FAST



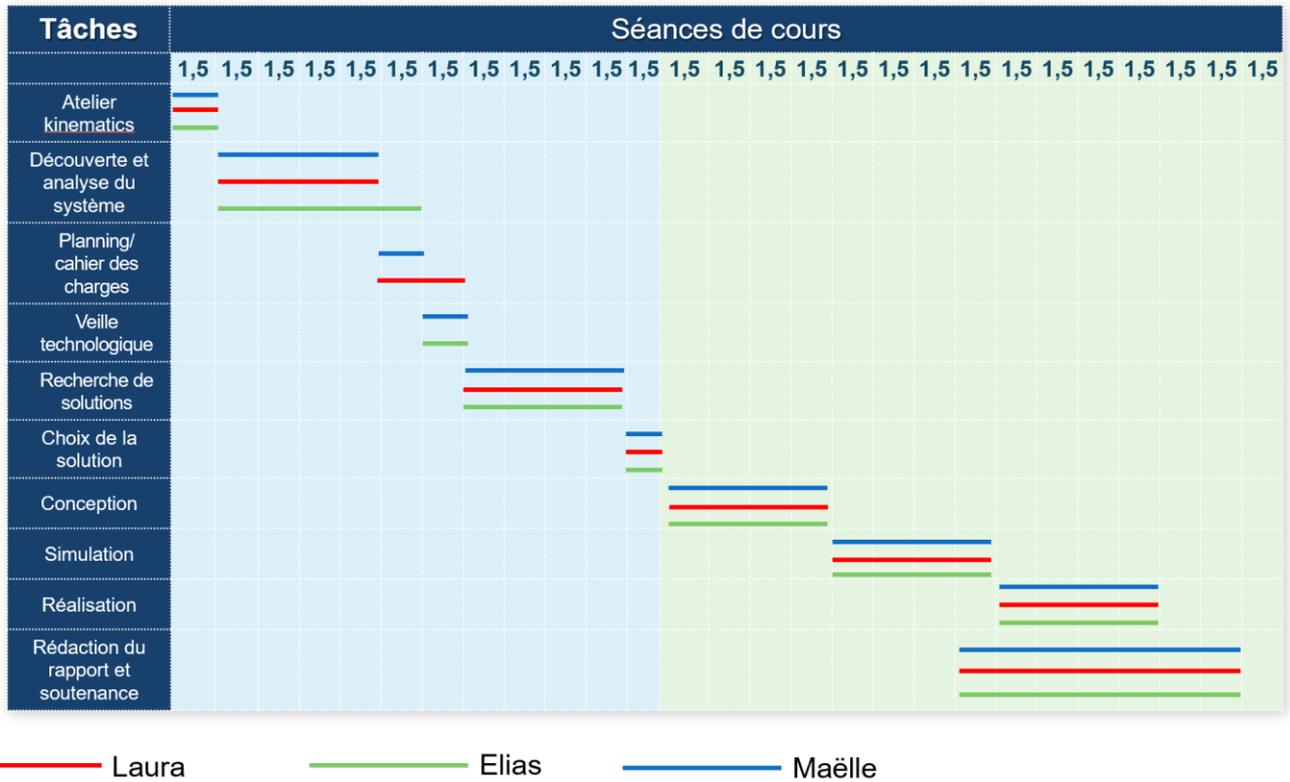
3) Diagramme des interacteurs



4) Tableau des caractérisations

	Fonction	Critères	Niveaux
FP	Informé de l'heure actuelle à l'utilisateur		
FC 1	Avoir une longue autonomie	Durée de marche	+ 1 heure
FC 2	Avoir un cout raisonnable	Cout procédé Prix matériau	<100 €
FC 3	Avoir une stabilité de la fréquence d'oscillation		± 5 degrés
FC 4	Résister aux chocs, vibrations et d'autres perturbations externes	Masse supporter Vibration supporter Matériau	
FC 5	Être esthétique	Forme	
FC 6	Maintenir une mesure précise de l'heure	Précision	± 5 secondes
FC 7	Être facile à entretenir	Démontable	
FC 8	Être peu encombrant	Longueur Largeur	< 330 mm < 342 mm

5) Diagramme de Gantt



RECHERCHE DE SOLUTION

1) Amélioration 1 – Miniaturiser le système

Choix de la solution

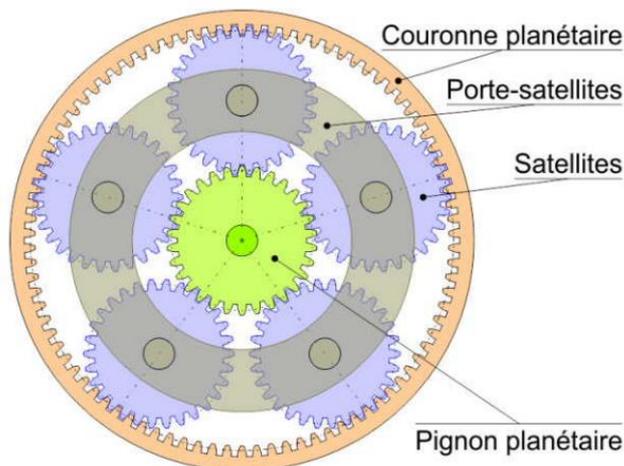
Solutions possibles	Critères d'évaluations			
	Lisibilité de l'heure	Être résistant	Autonomie	Encombrement
Trains épicycloïdaux	Bonne	Bon	Bonne	Moyen
Réduire le système complet	Mauvaise	Moyen	Moyen	Bon

Solution choisie

Nous avons choisi de remplacer le train d'engrenage présent sur le système par un train épicycloïdal. Dans une horloge, les trains épicycloïdaux présentent des avantages significatifs par rapport aux trains d'engrenages traditionnels. Ils permettent une plus grande compacité, essentielle pour les horloges de petite taille. Leur capacité à fournir des rapports de réduction élevés contribue à une précision accrue du mécanisme de chronométrage. De plus, en répartissant la charge de manière uniforme, ils réduisent l'usure des composants

et augmentent la durabilité de l'horloge. Enfin, leur fonctionnement plus silencieux et avec moins de vibrations améliore la fiabilité et la qualité globale de l'horloge.

Un train épicycloïdal réducteur est constitué d'un ensemble d'engrenages disposés de manière spécifique pour réduire la vitesse de rotation et augmenter le couple dans les systèmes mécaniques. Dans notre dispositif, le planétaire, situé au centre, tourne autour de son axe tout en entraînant les satellites par leurs dents qui s'engrènent. Les satellites, quant à eux, sont également en contact avec la couronne extérieure, laquelle reste immobile par rapport à la rotation.



Pour dimensionner rapidement le train épicycloïdal nous avons utilisé un site internet : <https://www.toutcalculer.com/mecanique/train-epicycloïdal.php>

Après plusieurs essais, il était impossible de mettre qu'un seul train épicycloïdal pour obtenir le bon rapport de réduction qui est égale à 0,01666667. Après plusieurs tentatives nous avons réussi à déterminer la bonne combinaison de train pour obtenir le bon rapport. Voici les caractéristiques des 2 trains épicycloïdaux qu'on a choisis :

	Train 1	Train 2
Dent couronne	120	126
Dent planétaire	24	14
Diamètres primitifs		
Couronne	180 mm	189 mm
Planétaire	72 mm	84 mm
Satellites	36 mm	21 mm
Pignons satellites		
Nombre de dents	48	56
Nombre optimale de pignon satellites	3	2
Rapport de réduction	0,166666667	0,1

En multipliant les 2 rapports de réduction nous obtenons bien la valeur attendue qui est de 0,01666667

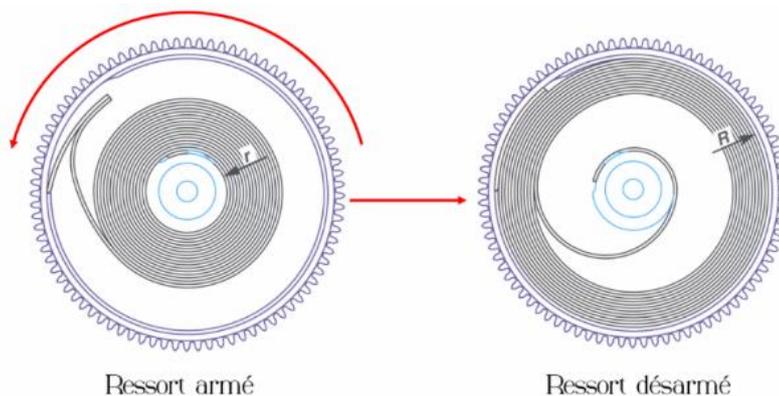
2) Amélioration 2 – Améliorer l'autonomie

Choix de la solution

Solutions possibles	Critères d'évaluations		
	Autonomie	Encombrement	Fiabilité
Lame de ressort + balancier	Bonne	Mauvais	Moyen
Ressort sans balancier	Bonne	Bon	Bonne
Mettre un ressort à la place du système de ficelle et du poids relié à la bobine	Bonne	Bon	Bonne

Solution choisie

Pour améliorer l'autonomie, nous avons donc décidé de mettre des ressorts à spirales qui est un composant mécanique utilisé pour stocker de l'énergie cinétique potentielle dans divers mécanismes, notamment les horloges. Il se compose d'une fine bande de métal enroulée en spirale de manière à former une bobine. Lorsqu'il est enroulé, le ressort accumule de l'énergie sous forme de tension élastique. Cette énergie est libérée progressivement lorsque le ressort se détend, fournissant une force constante et régulière pour alimenter le mécanisme auquel il est connecté. Le fonctionnement d'un ressort à spirale repose sur sa capacité à convertir l'énergie potentielle élastique en mouvement mécanique, assurant ainsi le fonctionnement précis et continu des dispositifs.



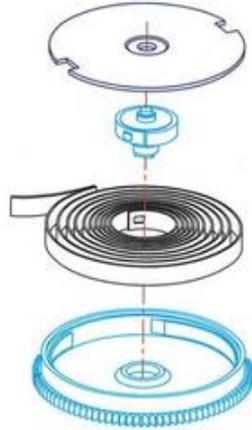
Dans notre mécanisme, nous avons mis 2 ressorts à spirales pour 2 fonctions différentes :

- l'accumulation d'énergie
- la régulation du mouvement

Accumulation d'énergie :

Tout d'abord, nous avons mis un ressort à spirale dans un barillet pour remplacer le système de bobine ou une ficelle était enroulé avec un poids. Une manivelle permet de tourner le barillet, comprimant le ressort à spirale à l'intérieur. Lorsque le ressort est entièrement enroulé, il emmagasine de l'énergie potentielle élastique. Au fur et à mesure

que le ressort se détend, cette énergie est convertie en mouvement rotatif régulier qui entraîne les rouages du mécanisme d'horloge, provoquant ainsi le mouvement des aiguilles ou d'autres indicateurs de temps. Ce processus est régulé par un dispositif d'échappement pour assurer une précision constante. La combinaison du ressort à spirale et de la manivelle permet donc de maintenir l'horloge en marche tout en conservant une bonne précision temporelle, offrant une solution mécanique efficace et fiable pour mesurer le temps.



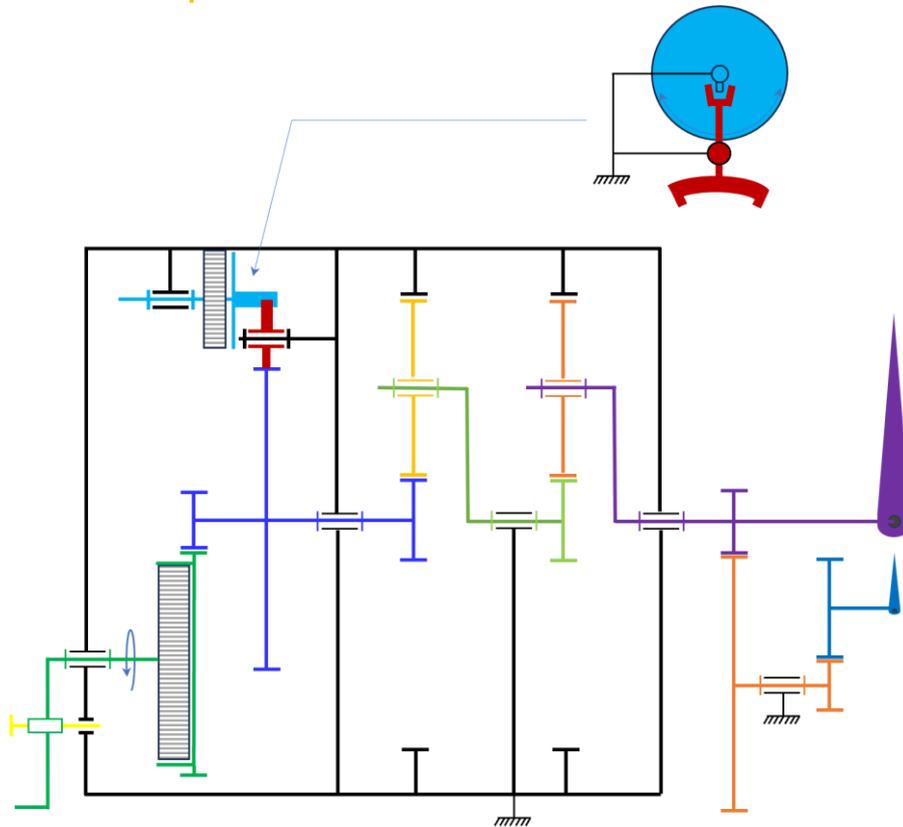
Régulation du mouvement :

Ensuite, nous avons remplacé le pendule par un balancier avec un ressort à spirale. Le balancier avec ressort à spirale est couramment utilisé dans les horloges mécaniques plus modernes. Le ressort à spirale peut être ajusté pour contrôler finement la fréquence des oscillations, offrant une régulation plus précise du temps par rapport à un pendule, dont la longueur fixe limite les possibilités d'ajustement. En effet, il est possible de mettre des vis de réglage sur le balancier. En serrant les vis le moment d'inertie du balancier diminue et accélère l'oscillation et inversement. De plus, les balanciers à ressort à spirale sont moins sensibles aux variations de température et aux mouvements, ce qui contribue à une meilleure stabilité temporelle. De plus, le balancier et son ressort sont plus compacts, permettant la conception d'horloges plus petites et portables, contrairement au pendule qui nécessite un espace vertical conséquent pour osciller correctement.



NOUVEAU SYSTEME

1) Schéma cinématique



2) Nomenclature

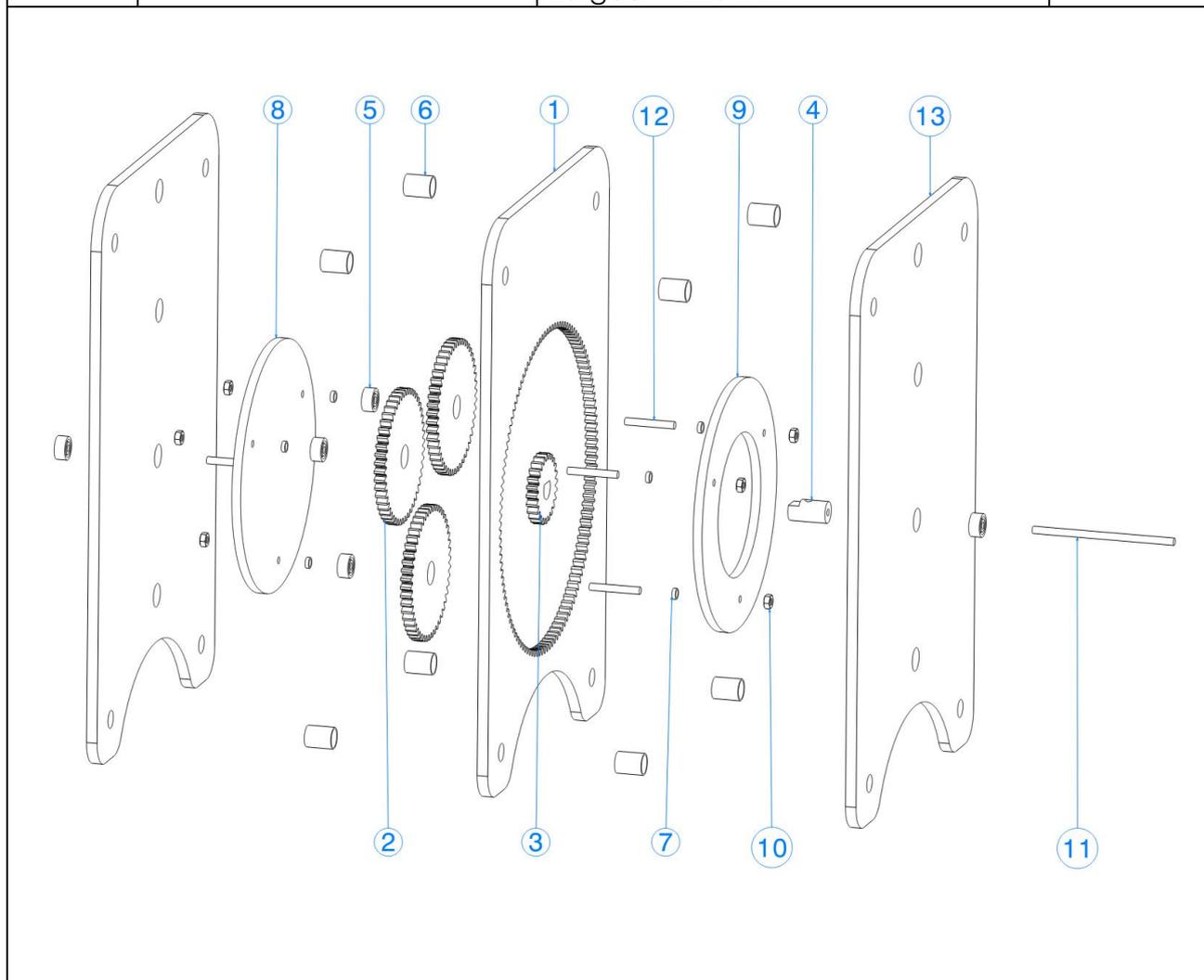
Désignation	Caractéristiques	Quantité
-------------	------------------	----------

Système avec échappement à ancre + ressort		
Roue échappement		1
Ancre		1
Palette		2
Ressort	Largeur de bande = 5mm Epaisseur de bande = 0,80 mm Nombre de spires = 8 Rayon = 34 mm	1
Balancier		1
Pièce lien engrenage		2
Virole		1

Ressort à spirale dans le barillet		
Barillet	Nombre de dent = 90	1
Ressort	Largeur de bande = 12 mm Epaisseur de bande = 0,4 mm Diamètre de la boîte = 104 mm	1
Couvercle du barillet	Diamètre = 124 mm	1
Pignon	Nombre de dent = 15	
Manivelle		1

Repère	Désignation	Caractéristiques	Quantité
--------	-------------	------------------	----------

Train épicycloïdal 1			
1	Couronne	Voir le tableau précédent sur les trains épicycloïdaux	1
2	Satellite		3
3	Planétaire		1
4	Pièce lien d'engrenage		1
5	Roulement	Diamètre intérieur = 4 mm Diamètre extérieur = 13 mm	5
6	Entretoise	Longueur = 15 mm Diamètre intérieur = 10,5 mm	8
7	Entretoise	Longueur = 2 mm Diamètre intérieur = 4,5 mm	6
8	Flasque	Diamètre extérieur = 140 mm	1
9	Flasque	Diamètre extérieur = 140 mm Diamètre intérieur = 80 mm	1
10	Ecrou	M4	6
11	Axe	Longueur = Diamètre = 4 mm	1
12	Axe fileté	Longueur = 28 mm Diamètre = 4 mm	3
13	Tôle	Hauteur = 322,5 mm Largeur = 220 mm	2

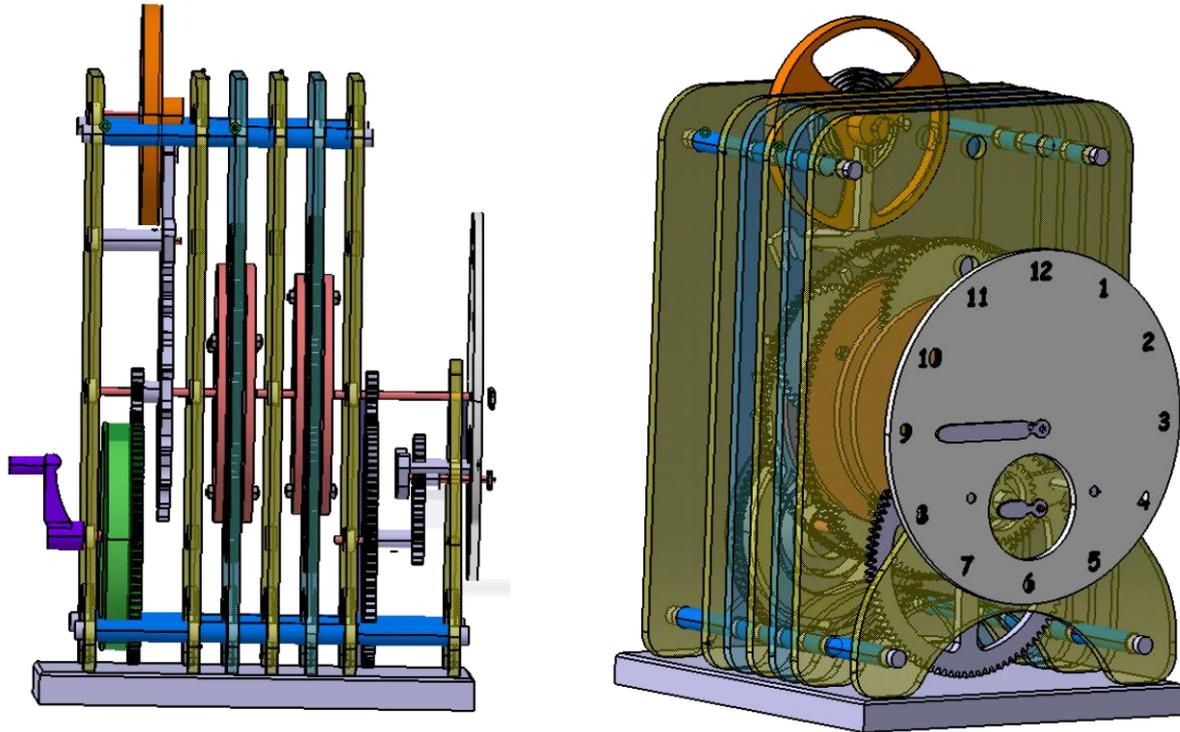


Désignation	Caractéristiques	Quantité
Train épicycloïdal 2		
Couronne	Voir le tableau précédent sur les trains épicycloïdaux	1
Satellite		2
Planétaire		1
Pièce lien engrenage		1
Roulement	Diamètre intérieur = 4 mm Diamètre extérieur = 13 mm	4
Entretoise	Longueur = 15 mm Diamètre intérieur = 10,5 mm	8
Entretoise	Longueur = 2 mm Diamètre intérieur = 4,5 mm	4
Flasque	Diamètre extérieur = 140 mm Diamètre intérieur = 80 mm	1
Flasque	Diamètre extérieur = 140 mm	1
Ecrou	M4	4
Axe fileté	Longueur = 28 mm Diamètre = 4 mm	2
Tôle	Hauteur = 322,5 mm Largeur = 220 mm	1

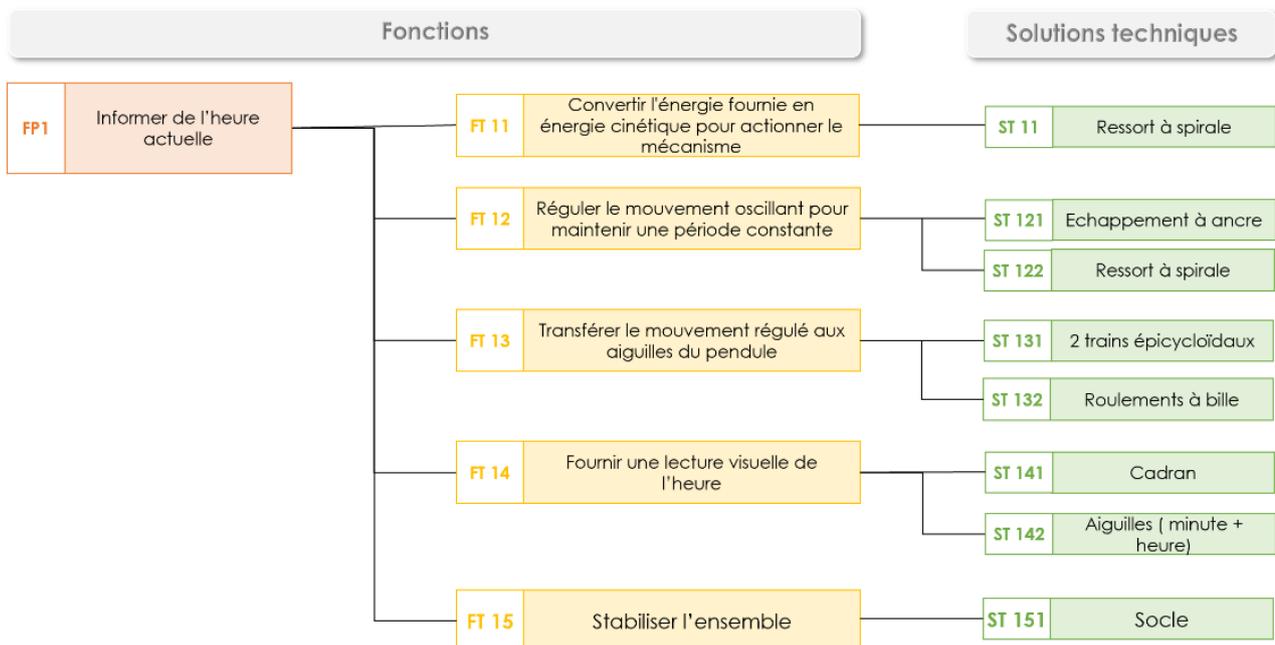
Autre élément de montage		
Tige fileté 1	Diamètre= 10 mm Longueur= 156 mm	2
Tige fileté 2	Diamètre=10 mm Longueur= 212 mm	2
Support	Longueur = 220 mm Largeur = 220 mm Hauteur = 20 mm	1
Tôle 1	Hauteur tôle 1= 322,5 mm Hauteur tôle 2= 170 mm Largeur = 220 mm	2
Entretoise	Longueur = 50 mm Diamètre intérieur = 10,5 mm	6

Eléments permettant la réduction entre la petite aiguille et la grosse aiguille		
Engrenage 1	Nombre de dent pignon : 15 Nombre de dent roue : 90	1
Engrenage 2	Nombre de dent pignon : 15 Nombre de dent roue : 30	1
Pièce lien engrenage		3
Roulement à bille	Diamètre intérieur = 4 mm Diamètre extérieur = 13 mm	3
Cage	Épaisseur = 6mm	1
Axe cage	Diamètre = 6mm Longueur = 43 mm	2
Axe aiguille	Diamètre= 4 mm Longueur axe 1 = 47 mm Longueur axe 2 = 86 mm	2
Axe	Diamètre= 4mm Longueur = 62 mm	1

Éléments pour lire l'heure		
Cadran	Diamètre = 200 mm Épaisseur = 5 mm	1
Petite aiguille	Épaisseur = 2 mm	1
Grosse aiguille	Épaisseur = 5 mm	1

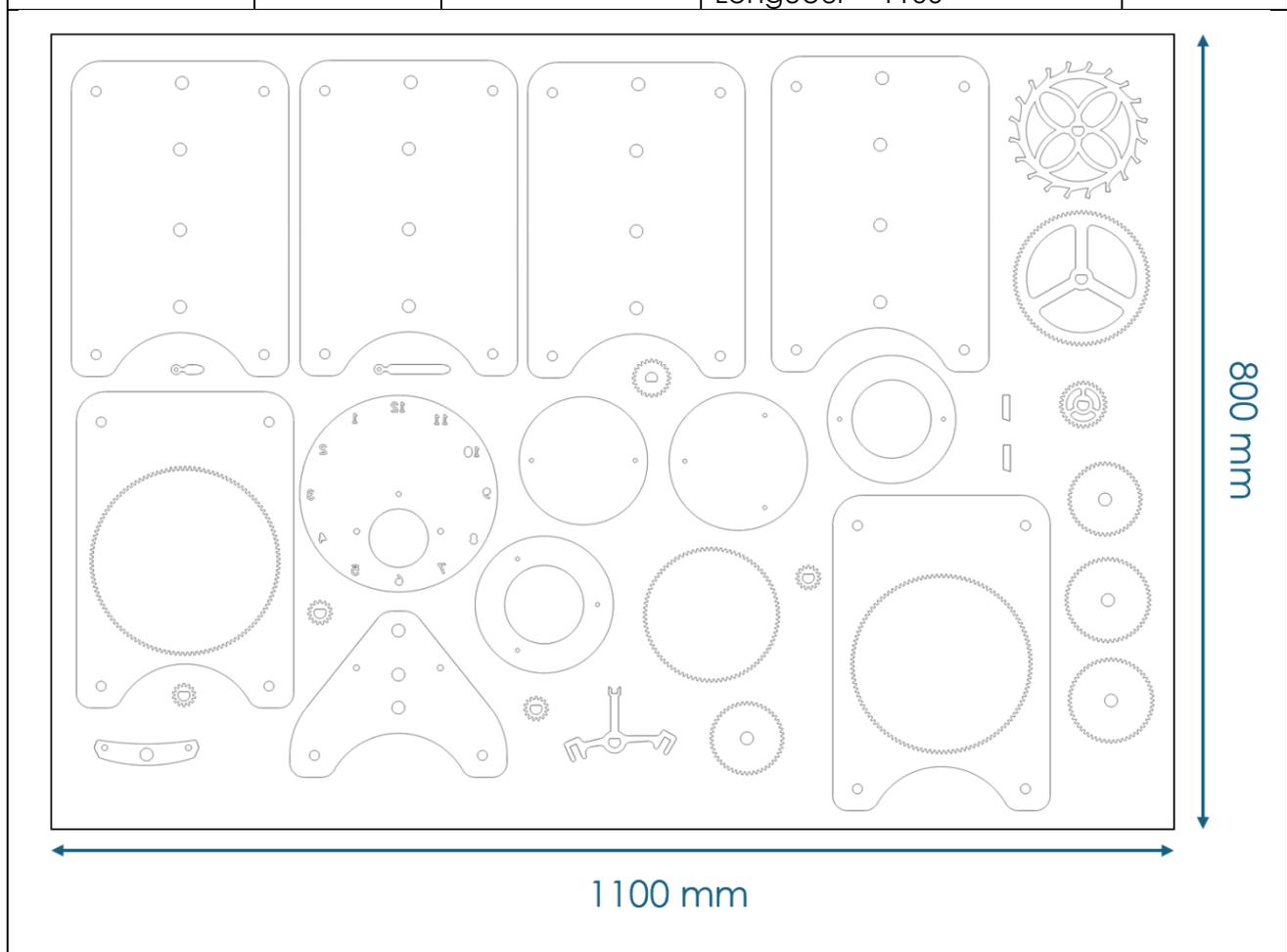


3) Diagramme FAST



4) Estimation du coût

Eléments à acheter	Quantité	Fournisseurs	Information	Prix
Ressort	2	Durovis	Ref : SPF-0914 Ref : TRFM-401224104	66€
Manivelle	1	ELESA	Ref : 232431-C1	12,50 €
Ecrou	10	Misumi	Ref : HNT2-ST-M4	2 €
Roulement	16	Misumi	Diamètre intérieur = 4 mm Diamètre extérieur = 13 mm Epaisseur = 4mm	33,92 €
Plexiglas	1	Plexiglass Surmesure	Epaisseur = 6mm Largeur = 800 Longueur = 1100	60,68 €



Prix total	175,10 €
------------	-----------------

Ce prix n'est qu'une estimation et il manque diverses pièces notamment les pièces liens engrenages qui peut être en acier et usiné à l'IUT. La plaque de plexiglas pourra être aussi usiné à l'IUT grâce à la découpe laser.

5) Calcul de l'autonomie

Il est possible de calculer l'autonomie de notre système.

Tout d'abord nous pouvons connaître le nombre de tours que va faire le ressort grâce au site : https://fr.planetcalc.com/9063/#google_vignette.

En effet, il faut juste ajouter différentes données sur le ressort :

- Diamètre externe = 104 mm
- Diamètre interne = 24 mm
- Epaisseur = 0,4mm

Nous obtenons que la longueur du ressort est égale à 2 010,6193 mm et fait 1 000 tours.

De plus, le ressort se trouve dans un barillet qui entraîne un petit pignon. Nous obtenons un rapport de 1/6 entre les deux. Ce pignon va donc augmenter l'autonomie qui sera dorénavant de 6 000 minutes.

BILAN

Pour conclure, voici un tableau présentant les performances de notre système que ça soit sur l'autonomie ou l'encombrement :

Amélioration		Assemblage précédent	Notre assemblage	Comparaison
Autonomie		21 minutes	6000 minutes	+ 5979 minutes
Encombrement	Longueur	330 mm	275 mm	- 55 mm
	Largeur	341,5 mm	220 mm	- 121,5 mm
	Hauteur	537,11 mm	320 mm	- 217,11 mm

Tout d'abord, nous pouvons voir qu'on a réussi à augmenter considérablement l'autonomie de l'horloge. En effet, l'ancien système marchait 20 minutes avec une corde de longueur de 1 mètre. Maintenant, l'horloge peut fonctionner 4 jours sans arrêt lorsqu'elle ne fonctionne plus il faut utiliser la manivelle pour comprimer une fois de plus le ressort.

Ensuite, grâce au trains épicycloïdaux et également aux ressorts nous avons pu optimiser l'encombrement du système :

- La conception des trains épicycloïdaux permet d'optimiser fortement l'encombrement
- Les ressorts qui permettent d'emmagasiner l'énergie et de réguler l'horloge remplacent l'imposant balancier et la corde qui pend avec le contrepoids