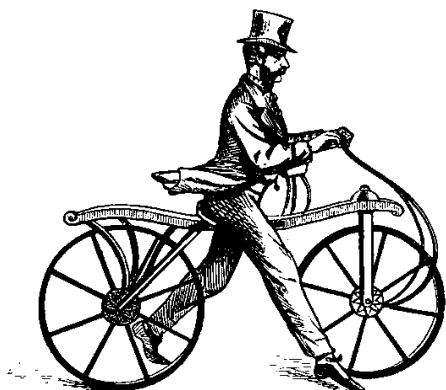


La bicyclette que nous utilisons quotidiennement est le résultat d'une merveilleuse histoire. Elle peut être racontée comme la succession des solutions techniques aux problèmes rencontrés pour réaliser une voiture sans cheval. Plus généralement, l'histoire de la genèse d'un procédé technique peut nous permettre de comprendre les objets qui nous entourent.

1^{re} étape : la draisienne de Drais en 1817



Problème posé : Les chevaux, même sans attelage, imposent des contraintes et requièrent des moyens matériels : prix d'achat, alimentation, santé, élevage, box, entretien. Depuis le Moyen Âge, l'homme rêve de voitures sans chevaux.

Finalité ou besoin à satisfaire : Augmenter la vitesse d'un homme à pied, sans avoir recours au cheval.

Repères et antériorités :

- Les célérifères, voitures sans chevaux à quatre roues, existent sur le papier (brevet), mais elles ne sont pas fonctionnelles car très lourdes et ne répondent pas au but recherché par Drais.
- Les chevaux de bois sur roue utilisés comme jouets par les enfants.

Situation historique ayant stimulé la découverte : Drais observe le patinage sur glace et constate que les patineurs avancent plus vite en patins sur la glace qu'à pied sur la terre ferme. Il met alors au point un dispositif sur lequel il suffit de se tenir en utilisant ses jambes pour le faire avancer.

Principe général : Drais imagine une poutre sur deux roues pour supporter un homme, ses pieds lui servant uniquement à le propulser. Toutefois, il faut pouvoir guider cette machine pour la rendre mobile !

Les fonctions nécessaires à l'élaboration de la réponse :

- Supporter un homme
- Sustenter l'ensemble homme-machine
- Guider la machine
- Propulser l'ensemble homme-machine à partir de l'énergie musculaire.

Bref état de la technologie :

- Les roues de charrettes en bois cerclées de fer
- Les timons de charrues en bois
- Les avant-trains de charrettes en bois
- Les selles pour cheval

Le travail est artisanal à base de bois et de fers forgés. Les roues sont fabriquées par des charrons-forgerons, et elles se composent d'un moyeu, d'un certain nombre de rais, d'un certain nombre d'éléments de jantes et d'un cerclage. Le sellier fabrique les selles.

Solutions technologiques / principes mis en oeuvre pour réaliser les fonctions : Pour supporter un homme, une structure (sorte de poutre) sur laquelle est montée la roue arrière, la roue avant étant montée sur un avant-train guidé par un timon. Sur cette structure était adaptée une selle.

Le véhicule roule sur deux roues et sa stabilité est corrigée grâce à l'action du timon sur le train de roue avant. Il est propulsé par les jambes et les pieds.

Perfectionnements et innovations techniques : Les concepteurs cherchent à perfectionner la fonction de guidage en proposant, comme Niépce, un guidon relié directement par une fourche à la roue. Le matériau utilisé reste le bois.

2^e étape : le vélocipède de Pierre Michaux, 1861

Problème posé : Si la draisienne s'adapte bien au plat, les jambes gênent la prise de vitesse de la draisienne en descente et surtout en montée.

Finalité / besoin à satisfaire : Transmettre l'énergie musculaire de propulsion de l'utilisateur directement au vélocipède, c'est-à-dire à ses roues, sans mettre les pieds au sol.



 **1** Vélocipède Michaux à corps ondulé, 1865. Inv. 14064

Repères et antériorités :

- Frein à sabot pour wagons de chemin de fer : chaque wagon est équipé de deux sabots montés tête-bêche sur un levier pivotant autour d'un axe lié au châssis (Ligne Saint-Etienne - Andrézieux) en 1827.
- Vélocipède à tiges mues par les pieds et entraînant deux manivelles solidaires de la roue arrière par Mac Millan, 1839 ou 1840,
- Brevet de roulement à billes pour machines par l'abbé Tihay en 1856,
- Billes pour assurer le roulement des vélocipèdes par Tribout en 1869.

Situation historique ayant stimulé la découverte : Pierre Michaux et son fils Ernest ont parfaitement admis que le vélocipédiste tenait en équilibre stable sur sa draisienne à une certaine vitesse et ils comprenaient que l'on pouvait se passer de maintenir les pieds au sol.

Voici un témoignage publié dans *L'Éclair* du 7 mars 1893 par son fils Henry Michaux en vue de revendiquer le titre de l'invention à Pierre Michaux plutôt qu'à son frère Ernest :

« En mars 1861, un chapelier de la rue de Verneuil, M. Brunel, apportait à mon père son vélocifer afin qu'il répara la roue d'avant. Le soir même, mon frère Ernest, âgé de 19 ans, prit la machine et s'en fut l'essayer avenue Montaigne. En rentrant, il dit à mon père, en ma présence :

- Je me tiens bien en équilibre, mais c'est tout aussi fatigant d'avoir les jambes levées que de donner l'impulsion sur le sol avec les pieds.

- Mais place donc, lui fit observer mon père, deux petits repose-pieds à la roue d'avant, et une fois lancé, puisque tu peux garder l'équilibre, tu auras les jambes en repos. Ou fais donc mieux : pour poser les pieds, adapte un axe coudé dans le moyeu de la roue et fait tourner celle-ci comme tu ferais tourner une meule.

Et mon frère exécuta tout de suite l'idée de mon père. De là, la pédale. Celle-ci fut trouvée par Pierre Michaux, et c'est son fils Ernest qui l'exécuta pour la première fois. »

Principe général : En montée, comme sur le plat ou en descente, il faut rester sur le vélocipède, d'où la solution qu'adopte finalement Pierre Michaux de placer des manivelles à pied à la place des repose-pieds. Ainsi, le vélocipède est « entraînable » dans toutes les configurations de route.

Les fonctions nécessaires à l'élaboration de la réponse : Il s'agit de la fonction de transmission de l'énergie musculaire du vélocipédiste.

Bref état de la technologie : Les draisiennes réparées par Michaux sont en bois. Mais Pierre Michaux étant serrurier à l'origine et connaissant le problème des draisiennes opte pour une structure en fer qu'il fait réaliser par un forgeron. Pour information, le vilebrequin et la manivelle datent de l'Antiquité.

Solutions technologiques / principes mis en oeuvre pour réaliser les fonctions : Les « manivelles à pied » encore appelées pédivelles. Ces pédales sont directement fixées sur la roue avant.

Perfectionnements et innovations techniques : Le vélocipède s'équipe de freins. Plusieurs constructeurs s'établissent à Paris et en province, notamment Truffault à Tours, et Rousseau à Marseille qui fabrique des vélocipèdes à roues de fil de fer en tension.

Bref état de la technologie vers 1861 : La mécanisation du travail se développe. Les ateliers modernes, qui vont devenir des usines, comportent un moteur à vapeur qui fait tourner un arbre à courroies de transmission qui entraîne les machines-outils. De nombreuses tâches restent manuelles. Le travail s'organise en série, les tâches deviennent de plus en plus spécialisées.


Le matériau des vélocipèdes passe du bois au fer forgé. L'usine de vélocipèdes Michaux à Paris produit l'ensemble des pièces, puis certaines pièces sont destinées à la sous-traitance comme les roues. En 1869, pour réduire le poids du vélocipède Michaux, Eugène Meyer remplace le bois des jantes et des rais (rayons) par du métal. Leur moyeu est garni de billes pour faciliter le roulement, les rayons sont perpendiculaires au moyeu et à la jante et

travaillent en compression, comme pour les roues en bois. M. Thévenon originaire de Lyon, remporte toutes les courses locales, les jantes de ses roues étant entourées de caoutchouc.

3^e étape : le bicycle entre 1870 et 1890

Problème posé : Le vélocipédiste entraînant la roue avant par pédalage peut fournir beaucoup plus de puissance que la machine n'en développe. De plus, la machine ne permet pas d'atteindre des vitesses suffisamment élevées.



 **1** Bicycle Rudge ou "Grand Bi", 1887. Inv. 14066

Finalité ou besoin à satisfaire : Rouler plus vite.

Repères et antériorités : Vélocipède entièrement métallique de Suriray, 1869

Situation historique ayant stimulé la découverte : La question du rapport entre le diamètre de la roue et le couple moteur.

Principe général : plus la roue est grande, plus le couple à la roue est faible, mais plus la vitesse de la roue est grande. Du fait de l'installation du pédalier sur le moyeu avant des vélocipèdes, il faut augmenter le rayon de la roue avant. Le bicycle de grande taille est appelé « Grand-bi ».

Problèmes spécifiques apparus : Comme le bicycle est de grande taille, notamment la roue avant, le centre de gravité du cycliste est rehaussé.

Les fonctions nécessaires à l'élaboration de la réponse :

- Il faut alléger la structure de la machine.
- Il faut disposer les rayons de sorte d'éviter que la roue ne se torde.
- Il faut pouvoir monter dessus.

Solutions technologiques / principes mis en oeuvre pour réaliser les fonctions / Solutions adoptées pour la structure :

- Cadre de bicycle à profil creux à l'aide de tôles soudées, innovation faite par Ader en 1867.
- Guidon réalisé à l'aide de tubes inclinés de façon à placer l'utilisateur en arrière de l'axe de la roue (innovation vers 1867).
- Construction des premières fourches creuses à partir de modèles de fourreaux de sabre de la guerre de 1870, par Truffault.
- Pour réduire le poids du vélocipède Michaux, Eugène Meyer remplace les tiges de cadre en fonte par des tubes de gaz d'éclairage en 1869.

Solutions adoptées pour la roue à rayons métalliques : J. Starley et W. Hillmann inventent la roue à rayons radiaux et non plus axiaux, de façon à créer des efforts travaillant en traction sur les rayons et non plus en compression.

Bref état de la technologie : entre 1870 et 1880 l'industrie du cycle s'est beaucoup développée en Angleterre. Elle comporte beaucoup de sous-traitants.

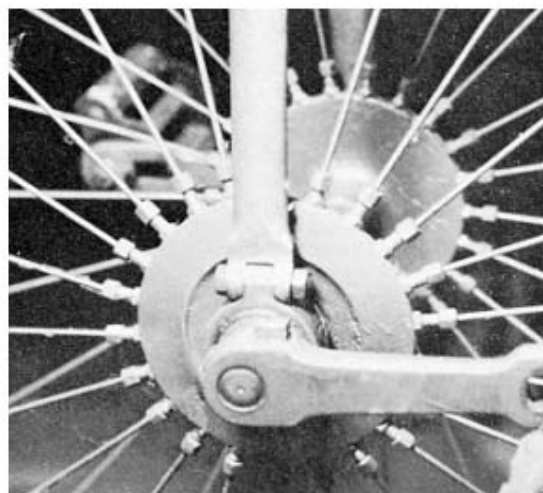
La spécialisation et la rationalisation du travail deviennent plus importantes.

Du point de vue de la conception du bicycle, l'ensemble devient métallique, les moyeux sont usinés (tournés puis percés pour les axes des rayons), la fabrication des jantes s'inspire de celle des rails aux Etats-Unis. Les jantes pleines sont prises dans une barre laminée au gabarit voulu,

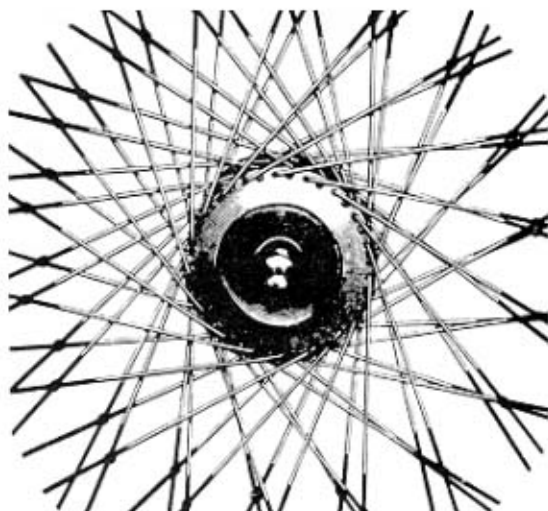
qui est coupée à dimension et cintrée au moyen d'une machine spéciale (munie de trois galets) qui amène progressivement la jante à une circonférence de diamètre déterminé. Puis on rejoint les deux bouts par brasure. Reste à percer la jante pour y visser les rayons.

Fonctionnement (avantages, inconvénients, sélection de la meilleure solution) : La position haute du centre de gravité permet, certes, de pédaler rapidement grâce à la grande roue, mais augmente les risques d'accidents, d'où une machine qui s'adresse aux adroits et aux sportifs et à un marché potentiel réduit.

Perfectionnements et innovations techniques : Les accidents sont parfois dus à une torsion de la roue, d'où le perfectionnement de la disposition des rayons de la roue avec les bicycles de Starley et Hillmann. Les rayons ne sont plus perpendiculaires au moyeu et à la jante, mais deviennent tangentiels et croisés entre eux, permettant une répartition des charges en compression sur les rayons, mais toujours en traction.



Roue de bicycle avant...



... et après l'invention de Starley et Hillmann

4^e étape : la recherche de la sécurité du bicycle dans les années 1880

Problème posé : Du point de vue de l'utilisation, étant donnée la position très haute du cycliste, le bicycle est destiné aux adroits et aux sportifs. Il faut donc trouver des solutions pour le rendre à l'usage de tous et en particulier aux femmes dont la tenue vestimentaire ne permet pas de pratiquer ce sport. Le Grand-bi provoque des accidents graves, il faut le rendre plus sûr.

Finalité ou besoin à satisfaire : Abaisser le centre de gravité du Grand-bi tout en préservant ses performances.

Repères et antériorités :

- Chaîne sans fin à maillons articulés et engrenages par André Galle, 1832,
- Dessin de tricycle à entraînement de roue arrière par Charles Dubos, 1868,
- Dessin de vélocipède à chaîne par Mougeol, 1869
- Dessin de vélocipède bi-chaîne (d'entraînement de roue arrière) par Viarengo de Forville, 1874

Ces dessins joints à des brevets français n'ont pas été suivis de réalisations. Il semble que ces brevets n'aient pas été examinés outre-Manche. Cela montre

toutefois que l'idée d'une transmission indirecte était à l'étude.

En Angleterre plusieurs approches sont réalisées :

- Vélocipède à tiges mues par les pieds et entraînant deux manivelles solidaires de la roue arrière par Mac Millan, 1839 ou 1840,
- Tricycle asymétrique composé d'une grande roue motrice et de petites roues placées dans le même alignement par James Starley, 1877. La grande roue est entraînée par leviers et évolue vers un système de traction par chaîne relié à un axe à manivelles (premier modèle de transmission par chaîne),
- Tricycle symétrique à deux grandes roues arrière (entraînées par deux chaînes, un arbre à manivelle) et une petite roue de direction avant, nommé "Devon" (apparu en 1878).

Situation historique ayant stimulé la découverte : Il s'agit là de résultats de recherches technologiques pures menant à une série d'innovations et moins de situations pratiques générant une invention spontanée. En ce qui concerne la pertinence liée au concept de système chaîne-pignon pour assurer la transmission du pédalage, c'est une diversité d'innovations de la part des industriels spécialisés dans la fabrication des chaînes qui a permis cette avancée. À l'origine, la chaîne plate de Vaucanson est utilisée pour entraîner l'arbre des chaînes de fabrication à partir du moteur à vapeur dans les ateliers de fabrication. Or, les bicyclettes équipées de chaînes plates présentent le désavantage d'accumuler de la boue sur les maillons, d'où la conception d'un élément décisif dans la mutation de la bicyclette : le rouleau d'axe monté sur le maillon de chaîne. Le passage du bicycle à la bicyclette à chaîne s'est donc fait progressivement, par tentatives successives et en commençant par des échecs sur le plan commercial. D'où la perspicacité des inventeurs de la bicyclette.

Principe général :

- Concevoir des tricycles avec deux grandes roues motrices, comme pour le Grand-bi, de façon à abaisser le centre de gravité.
- Les industriels anglais lancent l'idée qu'il faut aboutir à « un produit sûr » à deux roues. Cela signifie qu'il faut abaisser le centre de gravité, tout en conservant la possibilité pour le cycliste de fournir un couple de pédalage important.

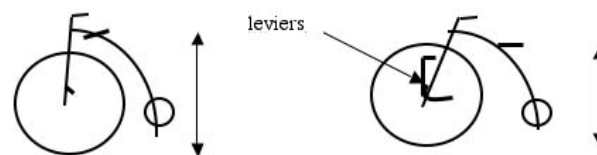
Les fonctions nécessaires à l'élaboration de la réponse : Du fait de l'abaissement du centre de gravité et de l'éloignement en même temps des pieds du cycliste de la roue motrice, il faut concevoir un système qui permette de *transmettre l'énergie* aux roues.

Bref état de la technologie : La chaîne de Vaucanson est employée pour transmettre la rotation des machines dans les ateliers de production mécanique ou textile. Elle demande des perfectionnements pour être appliquée au tricycle puis à la future bicyclette.

Solutions technologiques / principes mis en oeuvre pour réaliser les fonctions / processus de découverte : Pour comprendre ce qui a fait suite au Grand-bi, il faut faire abstraction de ce que nous connaissons aujourd'hui et imaginer que la plupart des cyclistes de l'époque étaient persuadés qu'il n'existait pas de meilleure solution.

Une première tentative d'abaissement du centre de gravité du cycliste est réalisée sur un Grand-bi par Singer en 1878 qui brevète une machine appelée « Xtraordinary ». Cette fois, la selle est mise vers l'arrière en inclinant la fourche avant de direction, dont l'axe correspond à celui du guidon. Les pédales de l'Xtraordinary sont amenées vers l'arrière grâce à des leviers. Parallèlement, une solution plus efficace pour abaisser le centre de gravité apparaît : les tricycles. Les recherches sur la transmission arrière

des bicycles se font à peu près au même moment.



En outre, quelques ingénieurs anglais comme Henry Lawson et J. Likeman pensent qu'une des solutions radicales pour pallier le problème de sécurité est d'inverser l'ordre de la grande et de la petite roue du bicycle, de placer le cycliste entre les deux, l'entraînement en rotation (par un système de leviers) étant rattaché cette fois à *la roue arrière*. Une autre manière d'organiser la structure de base du Grand-bi est de renvoyer la propulsion sur la roue arrière.

En 1876, William Blood fabrique un tricycle à leviers entraînant une grande roue arrière et deux petites roues libres à l'avant. Cette même année, Lawson construit un prototype de machine à leviers sur le même principe, mais ne comportant que deux roues (Museum of British Road Transport de Coventry).



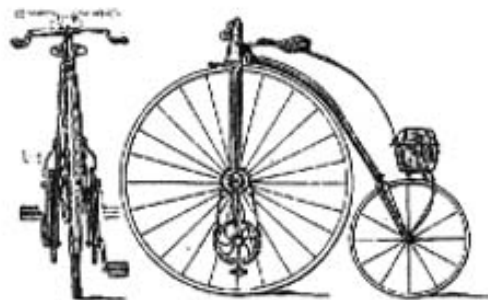
En 1879, alors que la solution avait été expérimentée sur tricycle, Lawson a l'idée de reprendre le concept de son prototype, de remplacer le système à leviers par un système de pignons et chaîne pour relier un pédalier sous les pieds du cycliste. Il brevète sa nouvelle machine, nommée « bicyclette ». Cependant l'esthétique de cette première bicyclette n'est pas appréciée et elle connaît un échec commercial.



Bicyclette Lawson, 1879

Le bicycle inversé se développe aux Etats-Unis. La tentative de Lawson entraîne donc d'autres essais sur l'idée de transmettre la propulsion par chaîne sur la roue arrière. Pendant un certain temps, l'axe vertical du guidon étant proche de la selle, reste décalé par rapport à l'axe de la fourche. En 1884, John Starley et Sutton présentent une machine, du nom de « Rover », qui est un mélange de caractéristiques connues jusqu'à présent. La nouveauté réside dans le fait d'avoir un support en forme de fourche supportant la selle et reliant la roue arrière. L'axe vertical du guidon ne coïncide avec celui de la fourche qu'en 1885.

Une autre variante de cette recherche sur l'abaissement du centre de gravité consiste à placer un système de chaîne et pignons à la verticale de l'axe du moyeu de la roue avant du bicycle. Cela permet de placer le pédalier plus bas que l'axe de la roue avant et de bénéficier en même temps d'une multiplication du couple de propulsion. C'est le cas du "Kangaroo" en 1885.



Kangaroo, 1884

5^e étape : la bicyclette

Quelle est la meilleure solution entre le concept du Kangaroo et celui du Rover ? Pour déterminer lequel des deux modèles serait sélectionné par les industriels, il fallut les mettre en compétition. Une course de vitesse donna le Rover gagnant. Par suite la bicyclette fut adoptée définitivement par le public.

L'invention du pneumatique

Problème soulevé : Nous sommes en 1888 : les roues de nos machines devenant plus petites, leurs jantes rendues de plus en plus étroites pour la diminution du poids, augmentent les trépidations subies par le cycliste.

Repères et antériorités : En 1842, l'associé de Mac Intosh, Hancock, et Goodyear en Amérique, inventent la vulcanisation, tandis qu'en France les maisons Rattier & Guibal (1830) et Barbier & Daurée (1892) fabriquent de nombreux appareils ou objets, bandes, fils et tissus élastiques.

En 1888, les expositions anglaises de vélocipédie présentent ainsi diverses solutions d'amortisseurs dont plusieurs inventions françaises.

En 1891, invention de ressorts indépendants aux roues de vélocipèdes pour annuler les trépidations. Invention également de la selle pneumatique.

Problème posé : Nous sommes en 1888, les routes sont empierrées, parfois pavées ; les roues de nos machines devenant plus petites, leurs jantes rendues de plus en plus étroites pour la diminution du poids, augmentent les trépidations subies par le cycliste. Les expositions anglaises de vélocipédie présentent ainsi diverses solutions d'amortisseurs dont plusieurs inventions françaises.

Solution préconisée : En 1888, un vétérinaire irlandais, John Boyd Dunlop,

de Belfast, dont le fils possède un tricycle, a remarqué, lui aussi, les trépidations occasionnées à cet instrument par les mauvaises routes (bruit infernal, conduite qui manque de sécurité) et tente d'y remédier par divers moyens mécaniques qu'il fera breveter. Mais au cours de ses recherches, il a l'idée *d'interposer un coussin à air entre la machine elle-même et le sol*. D'où sa réalisation et son brevet d'invention du 25 juillet 1888. Il fait construire une machine pour le coureur William Hume, premier usager du pneumatique qui gagne 4 courses.

Le 6 décembre 1889, *La Revue du sport vélocipédique* donne la reproduction d'un prospectus d'une société fondée depuis le mois de mai 1889 à Dublin : "Le pneumatique est composé d'un tube de caoutchouc d'environ 38 millimètres de diamètre rempli d'air comprimé. Ce tube est fixé à la jante par une enveloppe de toile (qui s'enroule autour du tube et de la jante) et protégé par une garniture de caoutchouc épais. L'air est soufflé dans le cercle à l'aide d'un soufflet au pied et une valve spéciale brevetée empêche l'échappement..."

Processus d'innovation : Les expositions et les courses et les revues vélocipédiques mettent en avant cette invention. Le 5 septembre 1890, la *Revue vélocipédique* indique : « À Clermont Ferrand, la Maison Michelin entreprend la fabrication des nouveaux bandages...". Plusieurs mois d'études, d'efforts et d'essais permettent enfin de créer le pneumatique démontable. Le brevet est pris le 18 juin 1891. Charles Terront, coureur cycliste, après hésitations essaie, accepte et gagne le Paris-Brest. Michelin se rend au Stanley show. Il devient "le père du pneumatique démontable. »

L'invention de la roue libre à cliquets

Problème posé : lors de l'utilisation de la bicyclette, le pédalier restait solidaire de la roue par l'intermédiaire du système chaîne-pignon. Le risque était important de causer des chocs violents aux pieds du cycliste par l'inertie provoquée par la vitesse de rotation. Il restait cette question de sécurité à régler.

Finalité ou besoin à satisfaire : augmenter la sécurité au pédalage lorsque la bicyclette roule et que le cycliste souhaite reposer ses jambes.

Repères et antériorités :

- Echappement à verge et foliot pour horloges à poids dans la cathédrale de Canterbury (une approche des roues à cliquet), fin du XIII^e siècle
- Cliquet de retenue d'un petit rouage auxiliaire pour sonner le coup des heures de l'horloge à automates de la tour de Soleure, 1642
- Reporteur à sautoir de la machine à calculer dite Pascaline, Pascal 1642
- Roue à rochets du Fardier de Cugnot, premier véhicule à moteur, Cugnot 1770
- Roue à cliquets du mouvement du chronomètre n°1655, Breguet 1820
- Brevet de roue libre (précurseur) pour tricycle par Francis Rougé, 1885

Situation historique ayant stimulé la découverte : Ernst Wilhem Sachs, un industriel allemand ayant acquis un savoir-faire personnel en micromécanique, produisit des roulements à billes de bicyclettes au sein d'une entreprise qu'il acquit en s'associant, inventa la roue libre moderne à cliquets en 1898. Il s'agissait du principe retenu pour tous les vélos modernes. En outre, pour pallier le problème du freinage, Sachs incorpora un mécanisme de freinage dans le moyeu arrière. Le moyeu équipé de la roue à cliquets et du mécanisme de freinage devint un ensemble parfaitement intégré sous la marque Torpedo en 1903.

Principe général : Principe de la roue à cliquets.

Les fonctions nécessaires à l'élaboration de la réponse : Désolidariser le pignon du moyeu lors d'un arrêt de l'action de pédalage par le cycliste.

Solutions technologiques / principes mis en oeuvre pour réaliser les fonctions : Cette solution était connue en micromécanique, notamment dans le principe des chronomètres. Mais il fallait l'adapter.

Fonctionnement (avantages, inconvénients, sélection de la meilleure solution) : Le pignon denté est fixé à la roue arrière par l'intermédiaire d'une roue à rochets. L'axe de la roue comporte, lui, des cliquets rendant la roue libre en rotation dans un sens et fixe dans l'autre.

Le vélocipède Guilmet-Meyer représentait-il la première bicyclette ?

La bicyclette n'aurait-elle pas pu être inventée plus tôt? C'est ce qu'ont voulu tenter de prouver Guilmet (l'horloger) et Meyer (le fabricant de roues de vélocipèdes à Paris) en regrettant que la guerre de 1870 ait bloqué l'industrie du vélocipède en France. Le vélocipède

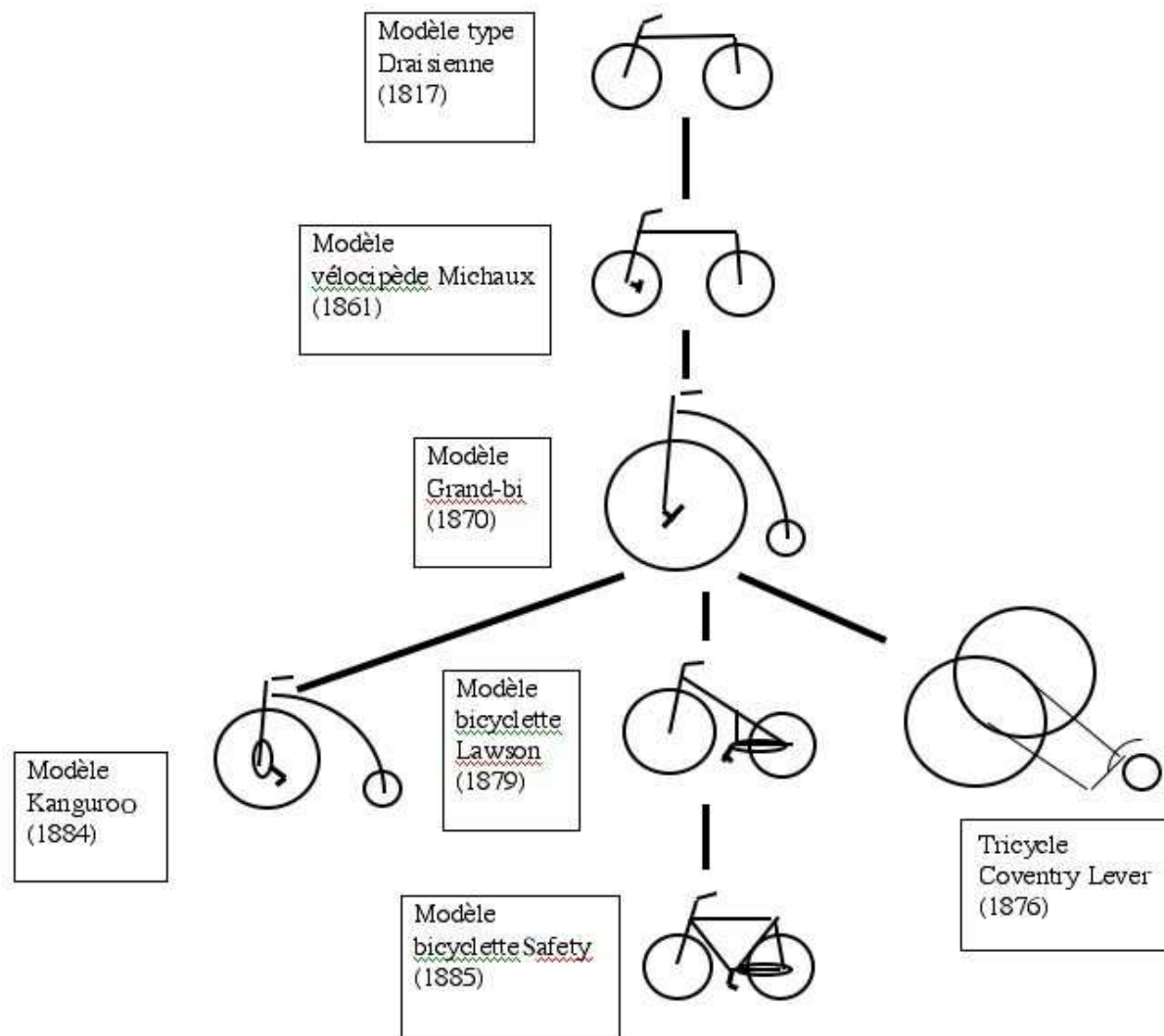
Guilmet-Meyer est présenté à l'exposition rétrospective du cycle en 1906 comme une invention française faite en 1869. Les éléments respectent l'état de la technique en 1869. Le cadre comporte cependant une soudure qui fait émettre des doutes quant à son authenticité. En effet, le soudage des métaux en France débute en 1892. S'il est peu concevable qu'un seul inventeur ait pu résoudre et intégrer ainsi plusieurs problèmes techniques pour créer ce modèle, la méthode de datation avec le carbone 14 resterait le seul moyen scientifique pour prouver la non authenticité de l'invention.



 **1** Vélocipède Meyer. Inv. 14014

Arbre phylogénétique de l'évolution des modèles de cycles

Cette représentation décrit l'évolution des modèles entre la draisienne et la bicyclette. Elle peut se poursuivre au-delà de la bicyclette par une bifurcation entre « vélo de course » et « la famille des Vélos tout terrain ».



Rédaction : A. Palmiéri

Photos : © Musée des arts et métiers/Cnam, S. Pelly.

Illustrations : A. Palmiéri

Sources : *L'album du Musée des arts et métiers*, cédérom, CNAM, 1994

Jean Rosmorduc, *Chronologie des sciences et des techniques*, Paris, CDRP, 1997, 46 p. Flash Museum et cartels du Musée des arts et métiers. *Encyclopaedia Universalis en ligne*

<http://www.universalis-edu.com/>