

l'actualité chimique

Le journal de la Société Chimique de France
Avril 2015 - N° 395



Société Chimique de France



Et aussi

**Les jeunes mettent leur grain de sel
Cyclisme et matériaux**

De la draisienne aux vélos actuels par l'évolution des matériaux

Philippe Pichat

Régnant des ventes – trois millions de bicyclettes vendues par an en France –, développement du cyclopartage en ville et des pistes dédiées aux cyclistes, conception de vélos innovants ou « sur-mesure »..., celui qui était il y a peu encore considéré comme la « voiture du pauvre » revient en force et retrouve sa place parmi les mobilités du quotidien, synonyme de transport respectueux de la qualité environnementale et de la santé. Pour preuve : selon la dernière Enquête globale transport (EGT) de 2010, le nombre quotidien des déplacements à vélo à Paris a été multiplié par deux entre 2001 et 2010 après une longue période de baisse pendant les années 1970 et 1980 [1].

La pratique du vélo nous apporte des bienfaits en tous genres [2-4], mais la plupart des cyclistes eux-mêmes ne sont pas assez conscients des travaux considérables qui ont été réalisés en science et technologie des matériaux, et donc le rôle majeur de la chimie, pour arriver à ce résultat.

De 1818 à nos jours

La draisienne [5]

Observons la rarissime enseigne d'un fabricant de draisennes des années 1800 présentée sur la figure 1. Cet engin constitue une étape dans l'histoire de la mobilité humaine. En effet, notre sympathique confrère est confortablement assis sur une selle en cuir type équitation. Sa force physique peut être exclusivement et non plus partiellement – comme dans le cas d'un piéton qui doit lutter contre la force de gravité pour sa sustentation – utilisée pour la *propulsion*. Le fabricant de draisennes a employé les matériaux disponibles à l'époque : du cuir (tanné par une opération chimique) pour la selle, du bois du type utilisé alors pour les charrettes pour le corps ou bâti, le guidon et les roues, et enfin du fer forgé pour « cercler » ces dernières. Ce fut un progrès considérable dans la gestion de l'énergie individuelle, certes, mais aussi collective (figure 2) !

Plus grande utilisation du fer forgé et innovation technologique : la pédale

Les pieds ne sont plus au contact du sol comme pour la draisienne et peuvent propulser des pédales inventées par Pierre Michaux en 1861, qui lança la toute première usine de vélocipèdes améliorés, devenue la Compagnie parisienne des vélocipèdes.

L'échoppe du fabricant de draisienne est devenue une véritable usine munie de grandes hottes (figure 3). Le fer forgé est ensuite envoyé dans l'atelier de peinture. Il s'agit de peinture appliquée au pinceau, sans doute du type huile de lin, essence de térébenthine, pigment minéral.



Figure 1 - La draisienne, brevetée en 1818 sous le nom de vélocipède, considérée comme l'ancêtre du vélo. Photo : P. Pichat, DR.



Figure 2 - Année 1819 : un grand progrès par rapport à la chaise à porteur qui impliquait un travail harassant pour deux porteurs ! (Collection particulière Jacques Seray).

Utilisation de l'acier

À la fin du XIX^e siècle devinrent disponibles, et pas seulement pour les futurs prix Nobel (figure 4), des engins ayant les caractéristiques principales des vélos actuels grâce au développement de la métallurgie du fer, à la diminution considérable du prix de l'acier, l'alliage entre l'élément chimique fer et l'élément carbone. Ce fut un des grands événements historiques du XIX^e siècle [6], pas suffisamment connu ! C'est donc de l'acier qui fut utilisé pour le cadre, les fourches, le guidon, les jantes, les rayons des roues et la

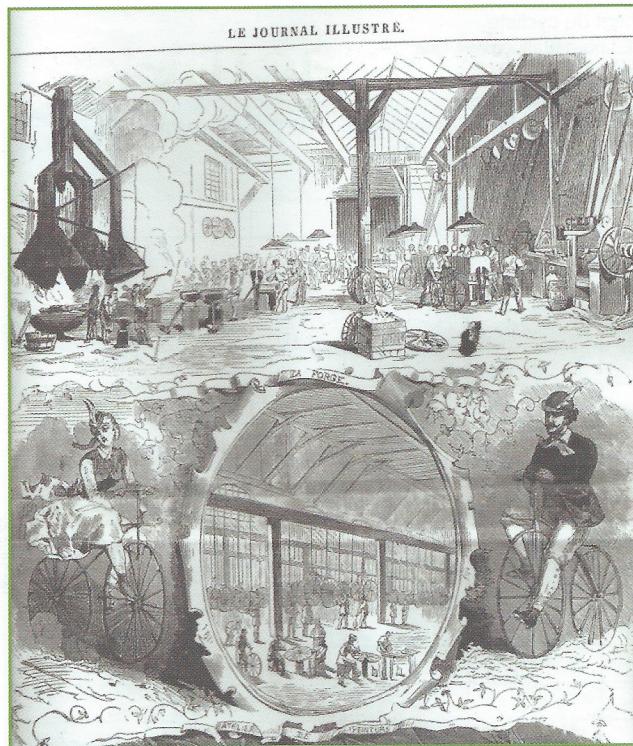


Figure 3 - Les grandes industries de France. Compagnie parisienne des vélocipèdes. Forges, Atelier de Peinture, 27 rue Jean-Goujon, et 12 avenue Bugeaud, Paris.

chaîne qui transmet l'énergie mécanique à la roue arrière. De nouveaux types de selles bien différents de celle de la draisienne, certes toujours en cuir, furent alors inventés.

Les vélos actuels [7]

Si les formes des vélos sont restées relativement stables depuis une centaine d'années, l'apport des nouveaux matériaux a récemment considérablement fait évoluer ce moyen de locomotion.

Les contraintes du cycliste et du vélo

Rappelons les contraintes du cycliste – ne les oublions pas ! Son énergie mécanique – apportée par une alimentation appropriée – provient de l'oxydation exothermique de sucres lents du type polysaccharides (par exemple l'amidon ($C_6H_{10}O_5$)_n avec $100 < n < 20\,000$) en eau et en gaz carbonique. L'énergie mécanique d'un être humain n'est pas élevée : environ le 1/7 de celle d'un cheval lorsqu'il est « en forme », et il s'agit de la conserver pendant des kilomètres !

Pour cela, il est essentiel d'évacuer rapidement cet excès de chaleur, de H_2O et de CO_2 ainsi produits par le corps humain en pédalant. En effet, les délicats mécanismes biologiques du corps humain ne peuvent fonctionner de façon optimale que dans un environnement immédiat (vêtements, chaussures, coiffure, gants, lunettes) le protégeant convenablement des contraintes :

- thermiques : froid, chaleur ;
- hydriques : pluie, neige, grêle ;
- mécaniques : la force de la gravité en particulier au démarrage et en côte, la résistance dans l'air, la force centrifuge, les vibrations voire les chocs provenant des irrégularités du sol, le vent (sans doute le principal obstacle au vélo) ;
- chimiques : rayons UV du Soleil.

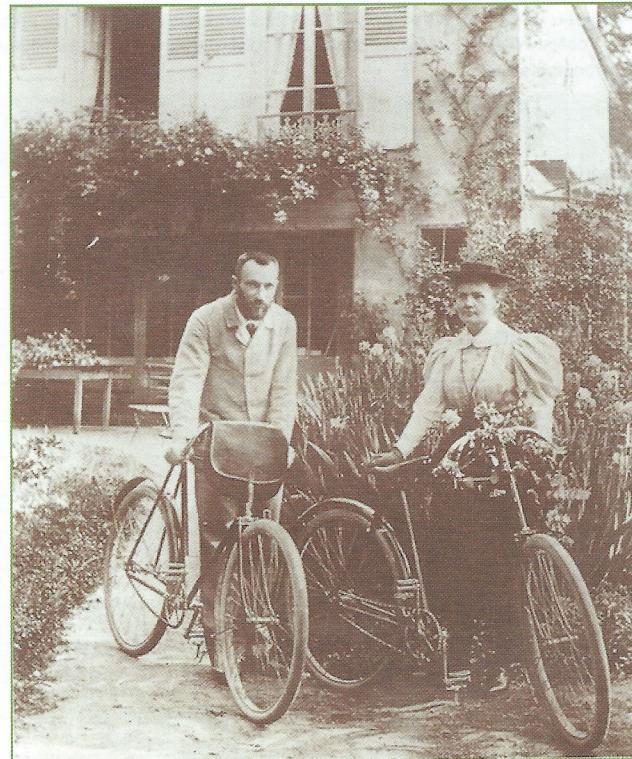


Figure 4 - Pierre et Marie Curie, Sceaux, 1895.

L'utilisation au contact du corps du cycliste de matières évapo-transpirantes, de textiles dits « polaires » isolants thermiques mêmes mouillés, de parkas du type Gore-Tex® (N.B. : les membranes en Gore-Tex® sont faites en Téflon®) conçues pour laisser passer les molécules de vapeur d'eau provenant de la peau et pour empêcher les gouttes d'eau de pluie de la traverser permettent, avec des précautions, de faire mieux face à ces contraintes que notre sympathique confrère utilisateur de la draisienne (même si sa tête était certes quelque peu protégée en cas de chute par son haut-de-forme...).

L'énergie mécanique fournie par un cycliste est de l'ordre de 70 watt à 15 km/h et peut atteindre 450 watt à 50 km/h sur une courte période [8]. Dans les montées et au démarrage, il est particulièrement nécessaire de lutter contre la force de gravité, et ceci d'autant plus que le poids du vélo est élevé, d'où l'importance, comme en aéronautique, du paramètre performances/poids.

Les principaux éléments d'un vélo sont le cadre, les fourches des axes des roues, le tube de selle, la selle, le guidon, le pédalier, les jantes, les rayons, les pneumatiques, les plateaux, le changement de vitesse et sa commande, les freins (patins...), l'éclairage, les peintures et les lubrifiants.

On attend, d'une manière générale, des matériaux utilisés les propriétés suivantes :

- une résistance chimique à l'oxydation, au dioxyde de carbone, à l'eau, à l'humidité de l'air, aux différences de température, aux UV du Soleil, aux atmosphères salines ;
- une résistance mécanique à la compression ;
- une résistance au choc (sans oublier les verres de lunettes pour protéger nos yeux des gravillons, des insectes...) ;
- une résistance à la flexion ;
- une résistance au cisaillement ;
- une adhérence au sol, même mouillé, de la bande de roulement du pneu.

Tableau I - Composition des différents éléments du vélo et de l'équipement du cycliste.
 PS : polystyrène, PC : polycarbonate, PP : polypropylène, PU : polyuréthane, PTFE : polytétrafluoroéthylène.
 *carbone, Kevlar®.

Matériaux	Fe	Al	Ti	Résines + fibres*	PS	PC	PP	PU	Polyester	PTFE	Élastomère	Divers (cuirs...)
Le vélo												
Cadre	X	X	X	X								
Fourches	X	X		X								
Jantes	X	X										
Rayons	X	X										
Guidon	X	X										
Selle						X	X				X	X
Câbles	X											
Gaines											X	
Freins	X											X
Patins frein												
Cale-pieds	X					X						
Pneus											X	
Chambre à air											X	
Porte-bagages	X	X										
Sacoche								X				X
Sonnette	X											
Peinture							X					
Le cycliste												
Buste couches 1, 2 et 3									X			
Jambes couches 1 et 2									X			
Pieds couches 1 et 2									X			X
Yeux						X						
Mains											X	X
Tête					X							
Bandes réfléchissantes						X			X			X

L'apport des nouveaux matériaux

- Les matériaux actuellement disponibles sont :
- les alliages métalliques qui, par simplification, sont représentés dans le tableau I par le sigle chimique de leur phase majoritaire. Ce sont des alliages d'acier produits certes à partir de fer, mais aussi de chrome et de molybdène, des alliages d'aluminium contenant du magnésium, de la silice, et des alliages de titane. La composition de l'alliage n'est pas le seul paramètre à prendre en compte : il y aussi son procédé de fabrication, le traitement thermique mis en œuvre...
 - les polymères organiques du type thermoplastique, thermodurcissable qui sont de véritables alliages constitués d'additifs (antioxydants...), éventuellement renforcés de fibres de Kevlar® (polyaramide de formule $(-\text{HN}-\text{Ph}-\text{NH}-\text{CO}-\text{Ph}-\text{CO}-)_n$) ou de fibres de carbone.

Les pneus sont des matériaux composites d'une grande complexité constitués de caoutchouc naturel, synthétique, de soufre pour en assurer la vulcanisation, de silice, d'oxyde de zinc, de noir de carbone, d'huile, de textiles... Les câbles d'acier commandant les freins et le dérailleur du changement de vitesse peuvent être placés dans des gaines en Téflon®, ce qui facilite leur glissement sans avoir recours à des lubrifiants.

Pour tous ces matériaux, sous des appellations génériques existent, en fait, des performances sensiblement différentes selon le type, y compris pour l'acier.

Les divers matériaux rappelés dans le tableau I permettent de fabriquer de nombreux types de vélos. La figure 5 prise lors d'une randonnée, nous montre, de gauche à droite, un vélo pliant cadre acier qui, en métro, en train, en bus, peut être pris avec soi, tel une petite valise dans laquelle il peut être rangé* ; un cadre en titane, léger et d'un grand confort car absorbant les vibrations ; un vélo ayant un cadre en aluminium avec suspension ; puis un vélo ayant un cadre communément appelé « en carbone », plus précisément fabriqué à partir de fibres dudit élément liées avec une résine époxy... Enfin, vingt centimètres de neige poudreuse ne seront pas un problème insurmontable pour les cyclistes équipés d'un VTT ayant des pneus au dessin approprié (figure 6).

Diminution des obstacles au développement de l'usage de la bicyclette

Les obstacles au développement du vélo sont de plusieurs types ; en dépit de leur diversité, l'amélioration des matériaux permet de tous les diminuer :



Figure 5 - Cette photo nous apporte la preuve concrète que grâce aux sciences et aux technologies, sont disponibles actuellement des vélos et des équipements permettant à des non-professionnels, y compris d'âge mûr, de parcourir en sécurité des dizaines de kilomètres par tous les temps ! Ce jour-là, nous sommes allés de Sens à Moret-sur-Loing dans de la neige « agrémentée » par moment de verglas... (photo : Club MDB, DR).



Figure 6 - Pneu adapté même à 35 cm de neige fraîche. Expérience et photo : P. Pichat.

- **La crevaison** : il peut être rebutant d'avoir à démonter un pneu, enlever la chambre à air, localiser et ôter le corps étranger intrus, réparer le pneu avec un adhésif et une rustine de caoutchouc... Les progrès effectués dans les matériaux des pneus et des chambres à air rendent ces exercices moins fréquents que par le passé, à condition bien sûr que le type de pneu soit adapté au parcours.
- **Le gonflage des chambres à air** : un autre exercice rebutant est le gonflage compte tenu de l'énergie qu'il nécessite (de nouveaux pneus doivent être gonflés à 7 bars) et de la position inconfortable qu'il implique. Les nouveaux pneus tiennent beaucoup mieux la pression grâce à de nouvelles formulations d'élastomères ; c'est ainsi que j'ai retrouvé récemment des pneus encore gonflés il y a 8 mois !
- **L'inconfort** : les cyclistes subissent les vibrations provenant d'une surface inégale du sol. On peut y remédier avec des

selles et des poignées de guidons garnies de mousses d'élastomères.

- **Le défaut d'éclairage** : avec l'éclairage historique au moyen d'une dynamo du feu avant et du feu arrière, le démarrage du vélo absorbait beaucoup d'énergie. On y remédie en stockant de l'électricité dans un condensateur constitué de feuilles de matériaux traités (polymère...) et au moyen de piles.

- **Le manque de visibilité du cycliste** : l'utilisation de matières réfléchissantes sous forme de rubans, de plaques..., constitue un grand progrès. On les fabrique en recouvrant des surfaces plastifiées de microbilles de verre qui renvoient donc la lumière dans la direction de la source.

- **Les frottements** : de nouveaux lubrifiants contenant du Téflon® permettent de diminuer les frottements. Leur utilisation sous une forme d'aérosol minimise la formation de cambouis abrasif. Quant à la diminution des frottements, elle est obtenue en ajoutant de la silice spécifique au caoutchouc de la bande de roulement des pneus.

- **Le manque d'énergie mécanique du cycliste** : lors de ses visites à ses patients en terrain vallonné à Romainville, notre camarade médecin Jean Louis troque son vélo pliant contre un vélo à assistance électrique (VAE). En effet, le cycliste peut devoir faire face à une clientèle exigeante, qui par tous les temps, y compris de canicule, sur tous les parcours, y compris montagnards, souhaite voir arriver un interlocuteur tiré à quatre épingle ! La vitesse du VAE est limitée à 25 km/h et le courant électrique est coupé en absence de pédalage. Une énergie maximale de 250 watt, considérable par rapport à celle fournie par un humain, est fournie par des batteries Cd-Ni, Li-ion... Outre les VAE, les nouveaux matériaux ont permis une nette diminution du poids des vélos, d'un grand intérêt notamment dans les montées !

Les vélos du futur

De nombreuses entreprises s'intéressent à la petite reine, notamment à la conception de vélos « sur-mesure » et les vélos dont les prix se rapprochent, voir dépassent les cinq chiffres (aussi du fait de l'usage du titane ou de la fibre de carbone) ne sont plus rares. Par exemple, la maison Hermès s'est associée à un industriel lyonnais spécialiste du carbone, Time, pour lancer fin 2014 une bicyclette « griffée » baptisée « Le Flâneur » [9].

Par ailleurs, les postiers d'Anglet, près de Biarritz, pourraient très bientôt faire leur tournée sur le premier VAE nouvelle génération. Fruit de la mise en commun des compétences de trois entreprises françaises, Cycleurope, Pragma Industries et Ventec, l'Alter Bike, qui sera commercialisé par Gitane [10], est le premier VAE dont le courant serait issu principalement d'une pile à combustible à hydrogène. Ce nouveau concept apporte une solution à une contrainte majeure soulignée par les utilisateurs : grâce à la pile à combustible, plus besoin de prise électrique ni d'attente pour recharger sa batterie puisqu'il suffit de la changer ! Cette pile d'environ 400 grammes (soit 4 à 5 fois moins que les piles actuelles, ce qui permet d'alléger considérablement le VAE) fournit la puissance de base nécessaire et fonctionne comme une batterie en utilisant l'hydrogène stocké dans de petites cartouches. Le vélo est doté d'une architecture hybride avec une batterie Li-ion intégrée, qui se recharge à partir de la pile à combustible.

BASF pour sa part a récemment utilisé la bicyclette comme objet d'expérimentation pour « repenser les



© BASF.

Figure 7 - Le « Concept 1865 » de BASF.

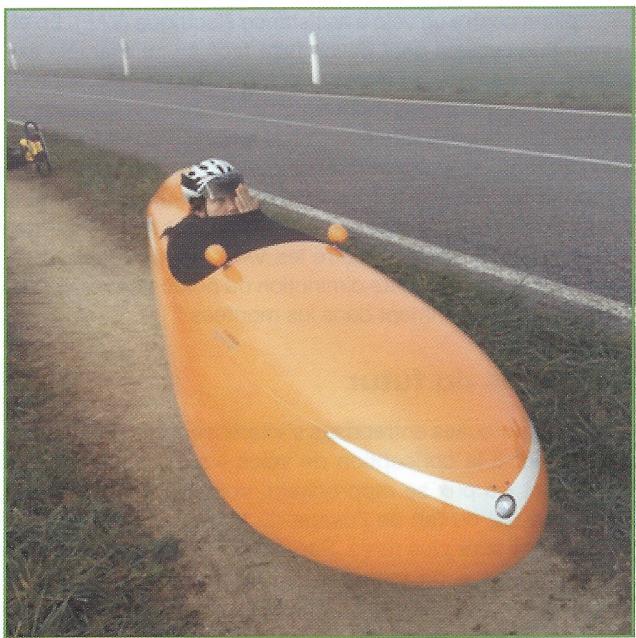


Figure 8 - Ceci est un... vélo avec carrosserie en fibres de carbone et polymères, croisé fin 2014 (photo : P. Pichat, DR).

matériaux » : sa draisienne du XXI^e siècle a été fabriquée fin 2013 à partir de plus de 20 de ses différents plastiques (figure 7) [11].

Et sur les routes : nous roulions en silence, en vallée de chevreuse, et soudainement, nous avons été surpris de nous faire doubler par une centaure très silencieuse car particulièrement aérodynamique (figure 8)...

Conclusion

La draisienne a pu évoluer en VTC, VTT, vélo de ville, vélo de course, VAE... éventuellement pliants, grâce à l'industrialisation de nouveaux matériaux. L'usage par tous les temps, dans tous les contextes de ces vélos est facilité par les équipements que les cyclistes peuvent maintenant se procurer ; ceux-ci peuvent ainsi optimiser l'utilisation de leur énergie mécanique limitée tout en se protégeant des intempéries. Les vélos actuels aident les hommes à faire face aux conséquences de l'urbanisation croissante [12] : difficultés de déplacement, embouteillages, coûts induits, pollution de l'air directe, pollution indirecte, manque d'exercice physique, surpoids avec ses conséquences pour leur santé...

« Pédaler plus, pédaler mieux », dans la vie professionnelle comme dans la vie personnelle, aide à faire face à ces difficultés variées, ce qui était déjà la conviction du grand H.G. Wells : « *When I see an adult on a bicycle, I do not despair for the future of the human race.* »

L'auteur présente ses vifs remerciements à Jacques Seray et Claude Bonjean qui ont amélioré cet article par leurs apports variés. Avec la Rédaction, il souhaite aux lecteurs de sortir leurs vélos, d'autant plus que les beaux jours arrivent !

Note et références

- * Voir la démonstration vidéo du vélo pliable Brampton : <http://brompton.zendesk.com/entries/21697337-fold-unfold-the-bike>.
- [1] Courtel J., Riou D., Le vélo retrouve sa place parmi les mobilités du quotidien, *Roue Libre* (revue du Club MDB) [3], 2015, 144, p. 16.
- [2] Pichat P., Le tourisme en bicyclette, in *Encyclopédie « Clartés »*, 1996, p. 19-20.
- [3] Club MDB (Mieux se déplacer à bicyclette – Vélocité au quotidien en Île-de-France), www.mdb-idf.org/spip
- [4] Produit du jour « Cyclisme et matériaux », SCF, www.societechimiquedefrance.fr/produit-du-jour/cyclisme-et-materiaux.html
- [5] Seray J., *Deux roues. La merveilleuse histoire d'une machine nommée vélo*, Autoédition : Jacques Seray, 2013 (réédition).
- [6] Gordon J.E., *The New Science of Strong Materials or Why You Don't Fall through the Floor*, Penguin Science, 1991, p. 17.
- [7] Numéro spécial « Chimie et vie quotidienne », *L'Act. Chim.*, nov. 1999, 225.
- [8] Wilson D.G., *Bicycling Science*, 3rd ed., MIT Press, 2004.
- [9] <http://france.hermes.com/maison/velo/m-flaneur.html>
- [10] www.gitane.com/alter-gitane-innovation.html ; démonstration en vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=FKR32ncntWM>.
- [11] www.designfabrik.bASF.de/group/corporate/designfabrik/en/projects/concept1865
- [12] Pichat P., Le risque chimique spécifique aux déchets, *L'Act. Chim.*, 2010, 341, p. 56.



Philippe Pichat* (à gauche sur la photo), ingénieur-expert, docteur ès sciences, utilise depuis de nombreuses années un vélo de préférence à tout autre moyen de locomotion.

* Courriel : philippe.pichat@innov-action.com
www.innovaction.com