

> Dès 1892, soit trois ans après l'inauguration de la tour, deux chercheurs, Louis-Pierre Cailletet et Eugène Colardeau, avec le soutien du physiologiste et inventeur Étienne-Jules Marey et de Gustave Eiffel, réalisent une série d'expériences consistant à laisser tomber du deuxième étage du monument (soit à 115,7 mètres du sol) des objets en chute libre, tenus par un fil fin et léger, en mesurant la vitesse par le déroulement du fil. En évaluant la résistance de l'air – égale au poids de l'objet en chute libre une fois atteinte sa vitesse limite –, ils obtiennent un coefficient de proportionnalité entre la vitesse au carré et la section du corps (en général carrée ou circulaire).

UN APPAREIL DE CHUTE LIBRE GUIDÉE

En 1893, Eiffel se retire de la vie professionnelle après sa participation malheureuse à la Compagnie du Canal de Panamá, secouée par de nombreux scandales politiques et financiers qui ont abouti à diverses poursuites pénales, lesquelles l'ont finalement innocenté. C'est alors qu'il décide de se consacrer à la recherche en s'intéressant au vent et à la météorologie. Il reprend en 1903 les expériences de chute des corps depuis la tour et conçoit un appareil plus astucieux permettant une mesure de la vitesse instantanée et de la force sur le corps.

Cet appareil est constitué par un lourd bâti, portant dans son extrémité les surfaces à tester et glissant le long d'un câble vertical de 115 mètres de hauteur (voir l'encadré page ci-contre). Le câble, à 21 mètres du sol, est augmenté dans son diamètre («cône d'arrêt») afin de freiner l'objet, permettant ainsi de mesurer la variation de la vitesse durant la décélération. Le temps écoulé est enregistré depuis le début de la chute, en même temps que la distance parcourue par l'appareil et la force sur l'objet d'essai. Ces mesures sont effectuées à l'aide d'un diapason et d'un cylindre tournant à une vitesse proportionnelle à celle du déplacement sur le câble, et sur lequel un stylet enregistre la force mesurée par les ressorts dynamométriques tenant l'objet.

La vitesse de chute U varie entre 15 et 40 mètres par seconde (vitesse maximale), ce qui permet à Eiffel de mesurer de façon précise le coefficient de résistance (défini comme le rapport entre la force de résistance par unité de surface normale au déplacement et la pression dynamique $\rho_{\text{air}} U^2/2$, où ρ_{air} est la masse volumique de l'air) et sa variation avec la vitesse sur des corps de différentes géométries (sphères, cônes, hémisphères, plaques et disques inclinés). En 1907, il publie ses résultats dans un long mémoire intitulé *Recherches expérimentales sur la résistance de l'air*, ce qui lui assure une rapide communication internationale de ses résultats scientifiques. L'appareil de

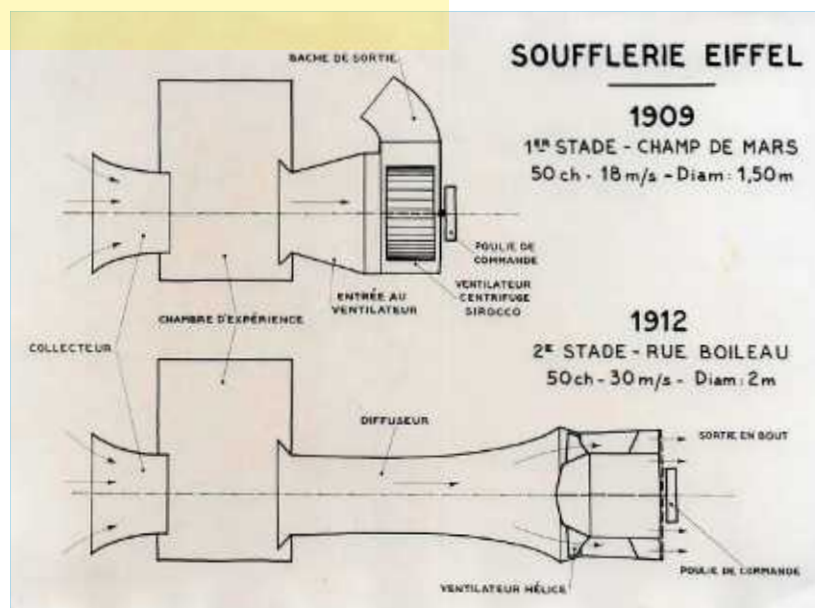
chute et la tour deviennent ainsi le premier laboratoire aérodynamique selon l'historienne des sciences Claudine Fontanon.

LA SOUFFLERIE EIFFEL

Ces recherches systématiques et précises encouragent Eiffel à aller plus loin. Poussé par les besoins technologiques de l'aviation naissante, il cherche à effectuer des expériences sur la résistance de l'air à grande vitesse dans des géométries plus accessibles que celle de la machine de chute.

Il construit, au Champ de Mars, dans une cabane au pied de la tour, une soufflerie ouverte («la méthode du tunnel») qui permet d'obtenir, dans une section carrée de 1,5 mètre de côté, une vitesse de l'air de 18 mètres par seconde. Ce courant est produit dans une chambre où l'air est aspiré grâce à un moteur de 50 chevaux (36,8 kilowatts) alimenté par les générateurs électriques de la tour, lesquels font de cette soufflerie la plus puissante du monde (voir la figure ci-dessous). Elle est équipée d'une

La vitesse de l'air dans la soufflerie du Champ de Mars atteint 18 mètres par seconde



Schémas des souffleries Eiffel au Champ de Mars (en haut) et rue Boileau (en bas). Le diffuseur est une innovation d'Eiffel qui permet d'améliorer le rendement énergétique des souffleries.

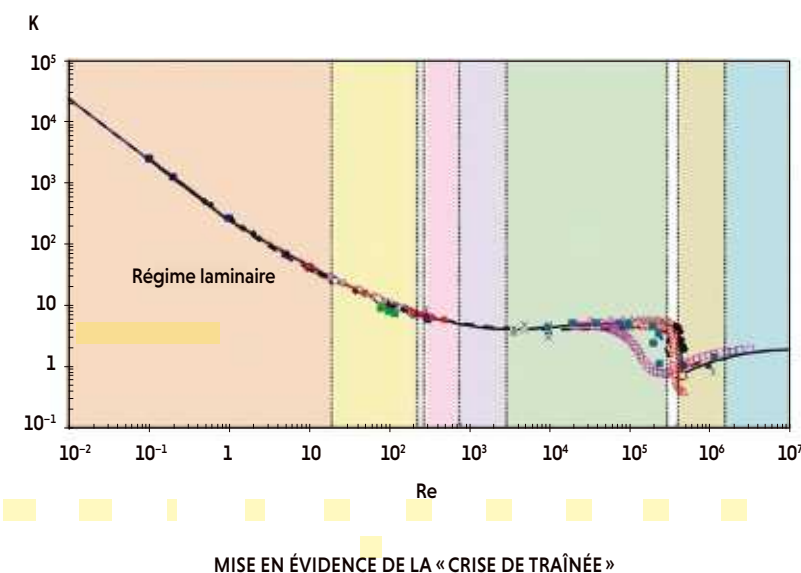
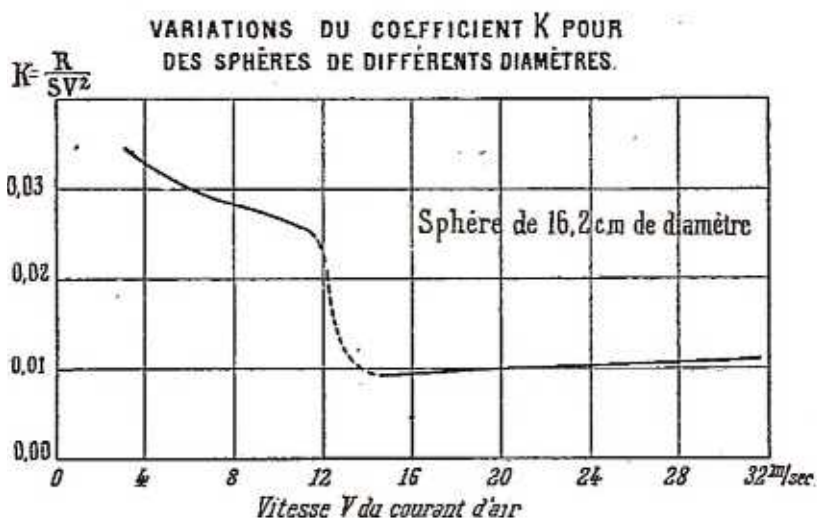
> balance aérodynamique imaginée par Eiffel, ainsi que d'un appareil destiné à la détermination des centres de poussée (la «girouette»), qui s'avérera très utile pour l'étude de la stabilité des ailes d'avion et en particulier pour observer comment, à partir d'une certaine inclinaison, apparaît un brusque déplacement du centre de pression de l'avant vers l'arrière.

Rapidement, de nombreux laboratoires aérodynamiques dans le monde ont adopté ce modèle de «soufflerie Eiffel». Un autre modèle très répandu et performant est celui de l'ingénieur allemand Ludwig Prandtl, qui construit en 1908 dans son laboratoire à Göttingen une soufflerie en circuit fermé.

Plus de 5000 essais seront réalisés dans cette installation du Champ de Mars, inaugurée en 1909, puis détruite en 1911 à cause des nuisances sonores et du renouvellement du quartier. À 79 ans, Gustave Eiffel reconstruit une soufflerie à Auteuil en élargissant sa veine d'essai à une section carrée de 2 mètres de côté, améliorant ainsi le rendement de l'installation grâce à la conception d'un diffuseur qui lui permet d'atteindre des vitesses de 30 mètres par seconde (voir les figures pages 75 et 77). Située au 67 rue Boileau, dans le XVI^e arrondissement de Paris, cette soufflerie est toujours opérationnelle et il est possible de la visiter. Classée monument historique, elle appartient actuellement au Centre scientifique et technique du bâtiment et abrite par ailleurs l'appareil de chute original.

LA « CRISE DE TRAÎNÉE »

Parmi les milliers de résultats de mesures obtenus par Eiffel sur la résistance des objets dans l'air, quelques-uns méritent une attention particulière et motivèrent, en leur temps, une polémique. Il s'agit des expériences sur la résistance des sphères en mouvement à grande vitesse. En 1912, Otto Föppl, chercheur à Göttingen, suspecte dans une publication que les valeurs mesurées par Eiffel du coefficient de résistance des sphères sont entachées d'erreurs «manifestes», car les mesures effectuées



En 1912, dans sa toute nouvelle soufflerie d'Auteuil, Gustave Eiffel mesura le coefficient K de traînée d'une sphère de 16,2 centimètres de diamètre en fonction de la vitesse V du vent ($K = R/SV^2$, où R est la résistance totale et S la surface diamétrale). On note que le régime d'écoulement change pour une vitesse critique d'environ 12 mètres par seconde. Cette vitesse critique diminue quand le diamètre de la sphère augmente (en haut). Une compilation d'expériences similaires récentes montre de même l'existence de différents régimes en fonction du nombre de Reynolds Re (une vitesse adimensionnelle, en bas).

La crise de traînée se produit à grande vitesse, quand le régime devient turbulent

à Göttingen montrent des valeurs deux fois plus grandes. Eiffel répond la même année dans une note aux *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* que si, pour des vitesses inférieures à une certaine vitesse critique, les valeurs trouvées par lui-même correspondent bien à celles mesurées à Göttingen, pour des vitesses plus grandes, on trouve l'effet paradoxal que la traînée diminue de presque moitié (voir la figure ci-dessus), valeurs que l'on ne pouvait obtenir à Göttingen, où l'écoulement de la soufflerie était moins rapide qu'à Paris!