

AERODYNAMIQUE

Le coefficient aérodynamique de la Citroën GSA X3 est l'un des meilleurs du monde pour une voiture de grande série. Celui de la CX n'est pas mal non plus (c'est d'ailleurs pourquoi ce modèle tire son nom des deux lettres qui, pour les ingénieurs, expriment le coefficient de pénétration dans l'air d'un mobile).

Faut-il s'en étonner ? Citroën a acquis en aérodynamique, cette science que la recherche d'économie d'énergie met à la mode, une avance comparable à celle qu'il avait pour la traction avant : plus de 50 ans.

Encore faut-il savoir ce que cela représente : l'aérodynamique, qu'est-ce que c'est ?

L'aérodynamique est une science expérimentale qui a pour objet l'étude des mouvements relatifs d'un solide avec l'air qui l'entoure. Son application à l'étude d'une forme de carrosserie constitue l'un des axes principaux de recherche d'économie d'énergie pour les véhicules automobiles.

DE L'ALLURE ET DES FORMES

Pour se déplacer sur le sol, un mobile doit vaincre deux forces :

① La résistance au roulement, qui dépend de l'état des surfaces en contact et est proportionnelle à la masse du véhicule. Elle importe d'autant plus que la vitesse est faible.

② La résistance à l'avancement, qui dépend de la forme du mobile et de sa surface frontale. Elle joue d'autant plus que la vitesse est élevée.

L'un des objectifs des études aérodynamiques est de réduire la résistance à l'avancement, c'est-à-dire d'élaborer une forme qui, pour une performance identique, exige une moindre production de force motrice, donc autorise une économie d'énergie.

Une carrosserie aérodynamique permet soit de rouler plus vite à consommation égale, soit de moins consommer à vitesse égale.

Les recherches de formes idéales se font sur des maquettes à échelle réduite, puis réelle, du véhicule. Les maquettes sont placées dans une soufflerie, installation expérimentale productrice de vent d'une certaine qualité et disposant de moyens de mesures des différentes forces dues à l'action du vent sur la maquette ou le véhicule réel.

En outre à une vitesse de croisière donnée le véhicule le plus aérodynamique dispose de plus de puissance pour l'accélération et ceci constitue un facteur de sécurité.

Toutefois le dessin d'une carrosserie automobile doit rester compatible avec les impératifs de fabrication, d'encombrement extérieur et d'habitabilité. Il est aussi

The aerodynamic coefficient of the Citroën GSA X3 is among the best in the world for a mass-produced car. That of the CX is not bad either (this incidentally is why the car draws its name from the two letters which, for engineers, express the coefficient of penetration of a moving object through the air).

And what is astonishing about that ? Citroën has, in the field of aerodynamics – a science now made fashionable by the quest for saving of energy – acquired an advance comparable to that it had in the field of the front-wheel drive : over 50 years!

But what does aerodynamics really represent?

Aerodynamics is an experimental science whose aim is the study of the relative motions of a solid body with regard to the surrounding air. Its application to the design of a car body constitutes one of the chief lines of the quest for energy economy in motor vehicles.

In order to move over the ground, a body must overcome two forces:

① *resistance to tyre-tread motion, which is dependent on the state of the surfaces in contact and proportional to the vehicle's mass. The slower the vehicle moves, the greater its effect.*

② *resistance to forward motion, which depends on the shape of the body and on its frontal area. The higher the speed, the greater its effect.*

LOOKS AND LINES

One of the objects of aerodynamic research is to reduce resistance to forward motion – in other words, to design a shape that will, for identical performance, require lower energy production.

An aerodynamic or streamlined body allows faster running for the same consumption of energy, or lower consumption for the same speed.

Research for the ideal shape is done on reduced-scale, then full-scale, models of the vehicle. The models are placed in a wind-tunnel, an experimental installation producing wind of a certain quality and fitted with the means for measuring the various forces due to the action of the wind on the model or the vehicle.

Moreover, at a given cruising speed, the more streamlined vehicle has more power left available for acceleration: this is a safety factor.

The design of a motor-car body must however remain compatible with imperatives of production, of overall measurements and of inside spaciousness. It is also a matter of style, for the coachwork must



Étude d'aérodynamique sur la Traction avant :
le parcours des filets d'air était matérialisé par
projection de lait de chaux.

Aerodynamic study of the "Traction Avant":
the trajectory of the air fillets was visualized by
projection of whitewash.

une affaire de style car la carrosserie doit plaire au public. Ceci rend impossible l'application littérale des lois de l'aérodynamique. Mais l'évolution de l'automobile tend cependant vers une réduction progressive des résistances aérodynamiques.

Depuis l'apparition de la crise de l'énergie, deux tendances ont vu le jour.

La première est d'améliorer des formes existantes grâce à l'adjonction de carenage, de spoiler, becquet arrière, rétroviseur caréné, etc... ainsi qu'à la recherche d'un meilleur écoulement d'air dans le compartiment moteur, etc.

La deuxième consiste à travailler sur des formes nouvelles avec des caractéristiques aérodynamiques plus ambitieuses.

Pour les automobiles de série, la recherche du minimum de résistance aérodynamique ne constitue qu'une partie de l'utilisation des souffleries. Sont également importants les problèmes de stabilité de route, de sensibilité au vent latéral, le refroidissement des moteurs, la climatisation de l'habitacle, la réduction des bruits d'air, etc...

Tout ceci conduit à voir dans les études aérodynamiques en automobile le moyen de concilier l'économie et le confort en respectant les impératifs de sécurité.

UNE USINE A COURANTS D'AIR

Au XVI^e siècle les premières mesures de résistance de l'air étaient effectuées sur des corps en chute libre et c'est seulement à la fin du XIX^e siècle qu'apparaît un nouveau procédé : le corps à étudier est soumis à un courant d'air artificiel, ce qui constitue le principe des souffleries aérodynamiques. Initialement le mode de ventilation des souffleries était l'air comprimé, puis le ventilateur, qui sera d'abord utilisé en soufflant, puis (actuellement) en aspirant. En 1909, l'ingénieur Eiffel y ajoutera deux dispositifs essentiels : le collecteur et le diffuseur. Cette soufflerie constitue le schéma type des souffleries actuelles.

Dans les applications en aérodynamique automobile, la section de la veine d'expérience est de l'ordre de 15 à 20 m², soit 10 à 20 fois la section d'un véhicule. La vitesse du vent atteint dans la veine 160 km/h avec une stabilité de l'ordre de $\pm 1\%$ dans le temps et dans l'espace d'expérimentation. Cette homogénéité est fondamentale, ainsi qu'une faible couche limite au sol (zone de fluide mort).

Il existe également en aérodynamique automobile des souffleries à échelle réduite pour des mesures sur maquettes, généralement à l'échelle de 1/5. Ces essais préliminaires de recherche de forme, rapides et moins coûteux que ceux à l'échelle 1 évitent de grosses erreurs sur les premiers prototypes.

be attractive to the public. This makes it impossible to apply the laws of aerodynamics literally. The evolution of the motor car nevertheless trends towards a gradual reduction in aerodynamic resistance.

Since the energy crisis set in, two tendencies have appeared.

The first is to improve existing shapes by adding fairings, spoilers, rear aerofoils, faired rear-view mirrors, etc., and to seek better air flow in the engine compartment and so on.

The second is to work on new shapes with more ambitious aerodynamic characteristics.

For standard production models, the quest for minimal air resistance is only part of the use of wind-tunnels. Road-holding, stability to side winds, engine cooling, air-conditioning of the cabin, reduction of wind noises, etc., also have their importance.

All this leads one to see in motor-car aerodynamic research a means of reconciling economy and comfort while respecting the imperatives of safety.

A DRAUGHT FACTORY LIKE AN HAUNTED CASTLE

In the XVIth century, the first measurements of air resistance were carried out on freely falling bodies, and it was only at the end of the XIXth century that a new method appeared: submitting the body to be studied to an artificial air stream. It is on this principle that wind-tunnels work.

The initial means of ventilating wind-tunnels was compressed air; then the fan, first used as a blower, and later (as is now the case) for suction. In 1909, the well-known engineer Eiffel added two essential devices: an intake and a diffuser. This type of wind-chamber is the prototype of all present-day tunnels.

In applications of motor-car aerodynamics, the cross-section of the experimental chamber is of the order of 15 to 20 m² (160 to 215 sq. ft), i.e. 10 to 20 times the vehicle's cross-section. In the main stream, wind speed reaches 100 mph with a stability of $\pm 1\%$ in experimental time and space. This homogeneity is fundamental, as is a low ground-limit layer (dead fluid zone).

Automotive aerodynamics also relies on reduced-scale wind-tunnels for use with models, the scale usually being 1/5. These preliminary shape-research trials, quicker and less costly than full-scale ones, eliminate gross errors on the first prototypes.

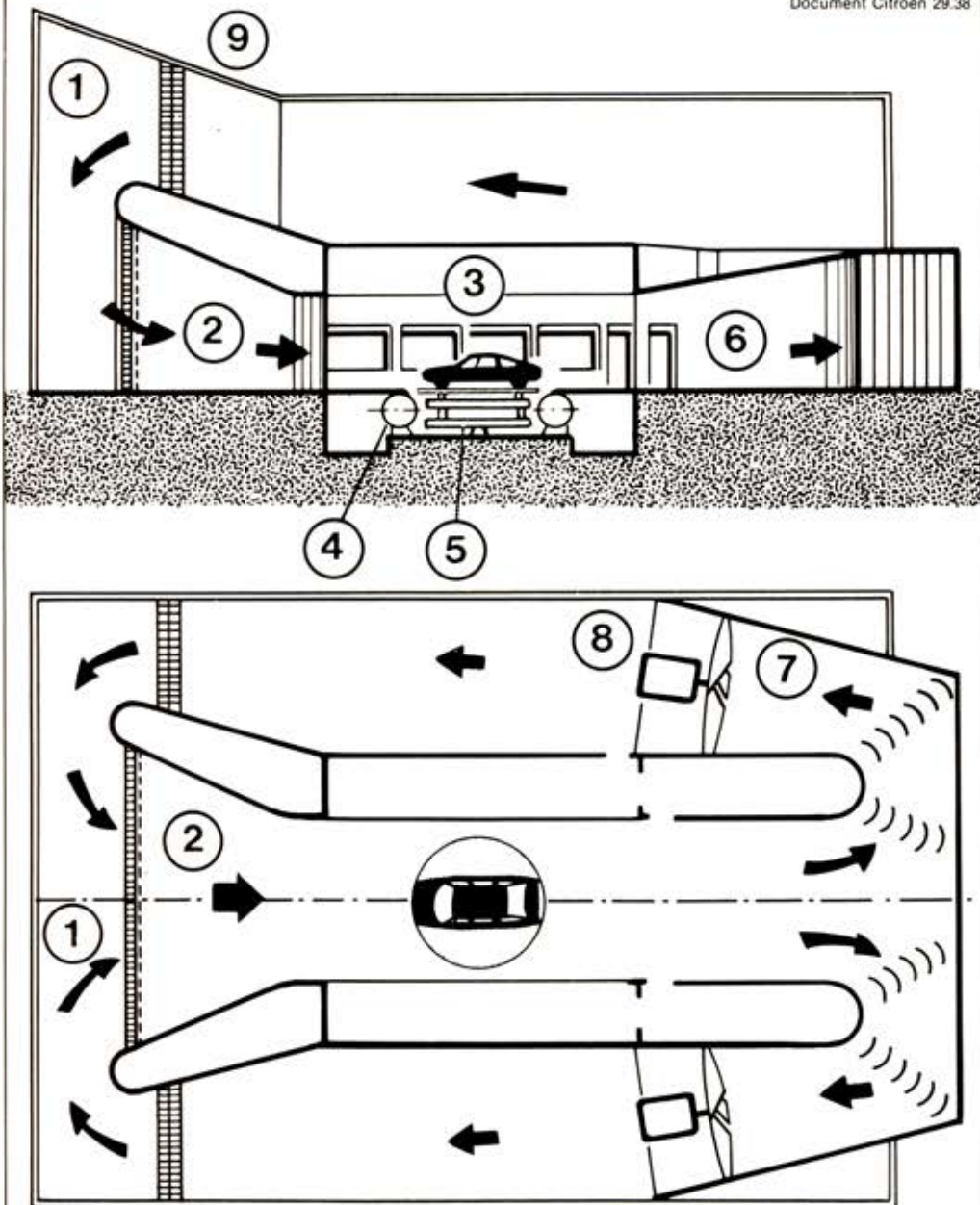


Schéma de la soufflerie de l'Institut aérotechnique de Saint-Cyr utilisée par tous les constructeurs français d'automobiles : 1. chambre de tranquillisation, 2. collecteur, 3. veine d'essais, 4. banc à rouleaux, 5. balance aérodynamique, 6. diffuseur central, 7. diffuseurs latéraux, 8. groupe motoventilateurs, 9. échangeur réfrigérant.

Diagram of the wind-tunnel at the St-Cyr Aerotechnical Institute, used by all French motor-car manufacturers: 1. stabilization chamber, 2. inlet, 3. test tunnel, 4. roller bench, 5. aero-dynamometer, 6. central diffuser, 7. lateral diffusers, 8. motor fan unit, 9. refrigeration exchanger.

Les souffleries sont équipées de balances relativement complexes permettant de mesurer toutes les forces aérodynamiques. L'ensemble voiture-balance forme un tout qui peut tourner d'un certain angle par rapport au vent et permettre ainsi la simulation d'un vent latéral.

Il convient toutefois de prendre garde au fait qu'il n'existe pas d'étalon universel de ces mesures. C'est chaque soufflerie qui constitue elle-même l'étalon des recherches expérimentales qui y sont pratiquées. Il peut se produire d'une soufflerie à l'autre des dispersions de la balance ou du vent soufflé qui provoquent de légères distorsions entre les résultats de telle ou telle installation. C'est pourquoi il y a toujours

Wind-tunnels are fitted with relatively complex dynamometric devices allowing measurement of all aerodynamic forces. The car-dynamometer system forms a unit which can be turned through a certain angle relative to the wind, thus allowing the simulation of side wind.

It should however be borne in mind that there is no universal standard for these measurements. Each wind-tunnel itself constitutes the standard for the experimental research done there. From one wind-tunnel to another, there may be dynamometric or blown-wind dispersions provoking slight distortions between the results found with one or another tunnel. For this reason, it is always well to know

avantage à connaître où et dans quelles circonstances ont été opérées les mesures dont il est fait état.

Il est notamment important de savoir si les résultats énoncés ont été obtenus avec une voiture non seulement en vraie grandeur mais réelle et en charge, et non avec une maquette à 1/5 (dont le bilan aérodynamique est en général amélioré d'environ 20 %).

BALANCES DES FORCES ET FILETS D'AIR

Les études aérodynamiques automobiles se font par voie expérimentale, à savoir par la mesure des forces et des pressions ainsi que par la visualisation des filets d'air.

① Mesure des forces

Une automobile dans le vent est soumise à l'application de 3 forces (la traînée, la dérive, la portance) et 3 moments (force multipliée par un bras de levier) qui sont le roulis, le tangage, le lacet, que l'on rapporte au trièdre XYZ.

Le schéma montre les axes de mesure des forces et des moments (force \times bras de levier) appliqués à un véhicule (Citroën CX) en train de rouler. La force X est appelée traînée, son moment est le roulis. La force Y est la dérive, son moment le tangage. La force Z est la portance (qui se décompose en portance arrière et portance avant), son moment est le lacet.

Pour le problème d'économie d'énergie seule compte la force de traînée, encore appelée résistance à l'avancement du véhicule ; on la recherche la plus faible possible.

Toutes les autres composantes interviennent pour la stabilité du véhicule et tout particulièrement dans sa sensibilité aux rafales de vent latéral.

Les forces et moments dépendent du carré de la vitesse du vent (c'est-à-dire de la vitesse du véhicule, en pratique courante), suivant les formules :

FORCES	MOMENTS
Trainée $F_x = \frac{1}{2} \rho C_x S V^2$	Roulis $C_l = \frac{1}{2} \rho C_l S E V^2$
Dérive $F_y = \frac{1}{2} \rho C_y S V^2$	Tangage $C_m = \frac{1}{2} \rho C_m S E V^2$
Portance $F_z = \frac{1}{2} \rho C_z S V^2$	Lacet $C_n = \frac{1}{2} \rho C_n S E V^2$

Dans lesquelles :

ρ = densité de l'air

V = vitesse du vent en soufflerie

S = projection frontale du véhicule

E = empattement

C_x = coefficient de traînée

C_y = coefficient de dérive

C_z = coefficient de portance

C_l = coefficient de roulis

C_m = coefficient de tangage

C_n = coefficient de lacet.

where and in what circumstances the measurements put forward were made.

It is, in particular, important to know whether the results stated were obtained with a full-scale car, rather than with a 1/5 scale model (whose aerodynamic results are generally about 20% better), but also whether the car was a real one, and loaded.

BALANCE OF FORCES AND AIR FILLETS

Aerodynamic research as regards motor cars is done experimentally by measuring forces and pressures and by visualizing the air stream with fillets.

① Measurement of forces

A car in a wind is subjected to 3 forces (drag, drift and lift) and 3 moments (force multiplied by leverage) which are roll, pitch and yaw, related to the trihedral XYZ.

The diagram shows the axes of measurement of the forces and moments (force \times leverage) applied to a vehicle (Citroën CX) when it is running. Force X is known as Drag, and its moment as Roll. Force Y is Drift and its moment Pitch. Force Z is Lift (broken down into forward Lift and rear Lift), and its moment is Yaw.

Where energy saving is concerned, drag, also known as resistance to the vehicle's motion, is alone involved. The aim is to reduce it as much as possible.

All the other components play a role in the vehicle's stability and more especially in its sensitiveness to gusty side winds.

Forces and moments depend on the square of the wind's velocity (i.e., in current practice, of vehicle speed) according to the following formulae:

FORCES	MOMENTS
Drag $F_x = \frac{1}{2} \rho C_x S V^2$	Roll $C_l = \frac{1}{2} \rho C_l S E V^2$
Drift $F_y = \frac{1}{2} \rho C_y S V^2$	Pitch $C_m = \frac{1}{2} \rho C_m S E V^2$
Lift $F_z = \frac{1}{2} \rho C_z S V^2$	Yaw $C_n = \frac{1}{2} \rho C_n S E V^2$

where:

ρ = air density

V = wind velocity in tunnel

S = frontal area of vehicle

E = wheelbase

C_x = coefficient of drag

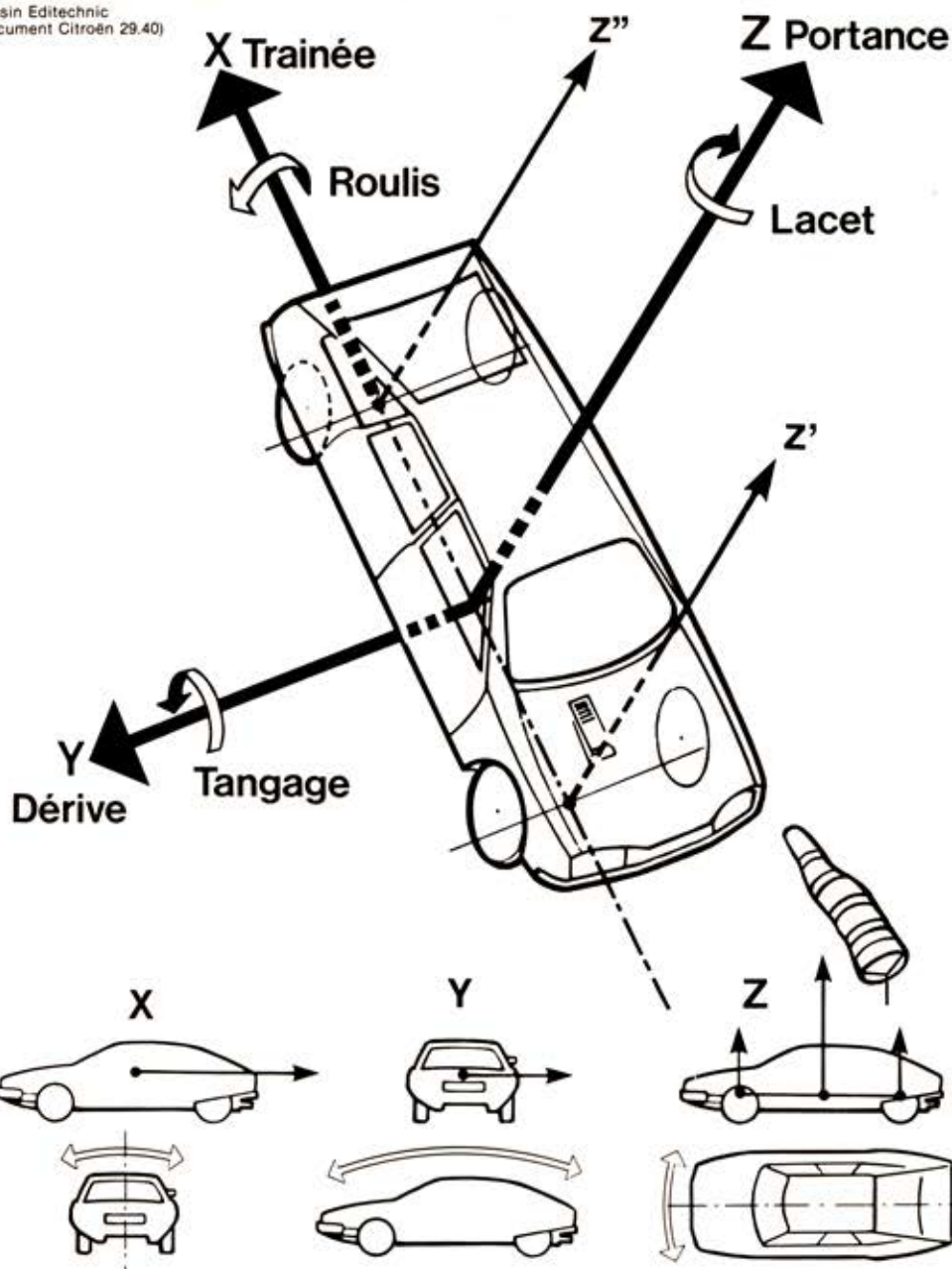
C_y = coefficient of drift

C_z = coefficient of lift

C_l = coefficient of roll

C_m = coefficient of pitch

C_n = coefficient of yaw



Axes de mesures des forces et des moments appliqués à une Citroën CX.

Axes of measurement for the forces and moments applied to a Citroën CX.

On s'aperçoit que la résistance à l'avancement d'un véhicule ou Trainée F_x dépend de la densité de l'air et de sa vitesse mais aussi du $C_x S$ (coefficient de trainée multiplié par la projection frontale du véhicule) et non pas uniquement du C_x généralement seul cité.

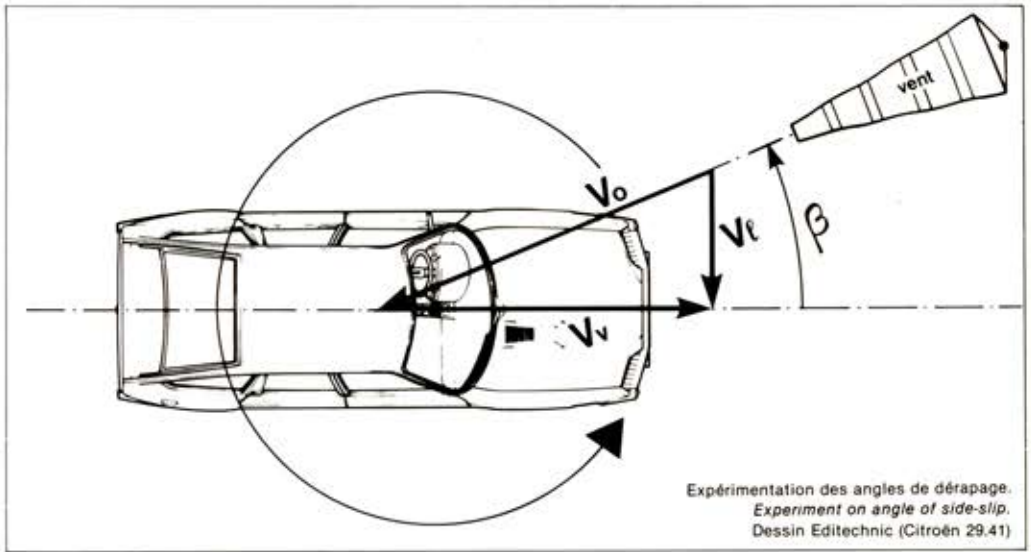
Exemple : avec un C_x nettement moins bon que la CX (0,39 contre 0,36) mais une surface frontale moins grande (1,70 m² contre 1,92 m²), le coefficient aérodynamique de la LNA est meilleur (0,66 contre 0,70 pour la CX).

A noter qu'il s'agit en aérodynamique de coefficients adimensionnels et que C_y et C_z n'ont pas de signification physique

It can be seen that the resistance to a vehicle's motion of Drag F_x varies with air density and speed, but also with its $C_x S$ (coefficient of drag multiplied by frontal vehicle area), and not merely with its more usually quoted C_x alone.

Example: with a C_x definitely less good than that of the CX (0.39 against 0.36) but a smaller frontal area (1.70 m² = 18.3 sq. ft against 1.92 m² = 20.7 sq. ft) the aerodynamic coefficient of the LNA is better (0.66, as against 0.71 for the CX).

It should be noted that, in aerodynamics, the coefficients are non-dimensional and that C_y and C_z ve no absolute physical



Expérimentation des angles de dérapage.
Experiment on angle of side-slip.
Dessin Editechnic (Citroën 29.41)

absolue puisque l'on conserve S projection frontale pour une force F_y qui s'applique sur la surface latérale du véhicule (profil).

Tous les coefficients C_x C_y C_z C_l C_m C_n sont relevés en soufflerie pour différents angles de dérapage β (angle entre l'axe du véhicule en essai et l'axe de la soufflerie).

Un roulage à 130 km/h avec un vent latéral perpendiculaire de 40 km/h sera simulé en soufflerie par un vent de 136 km/h et un angle de 17° entre l'axe de la maquette et celui du vent.

$$V_o = 136 \text{ km/h} \quad V_v = 130 \text{ km/h}$$

$$V_t = 40 \text{ km/h} \quad \beta = 17^\circ$$

Connaissant les répartitions des poids et des portances sur les essieux avant et arrière il sera possible de déterminer le délestage des roues dans tous les cas de vitesse du véhicule avec différents vents latéraux.

significance; the frontal area S is retained for a force F_y acting on the lateral surface of the vehicle (profile).

All coefficients C_x C_y C_z C_l C_m C_n are read in the wind-tunnel for various angles of side-slip β (angle between the axis of the vehicle on test and the axis of the wind-tunnel).

Running at 80.8 mph with a 25 mph side wind is simulated in a wind-tunnel by an 84.5 mph wind and an angle of 17° between the model and the wind.

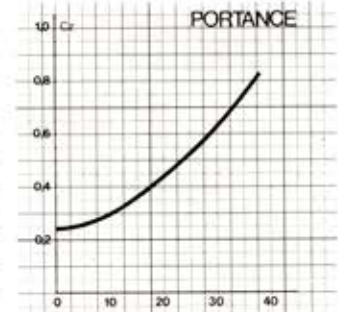
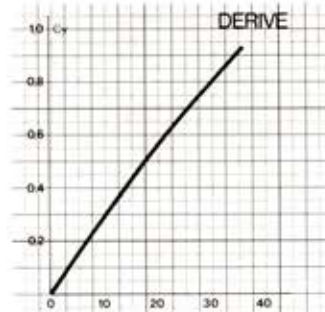
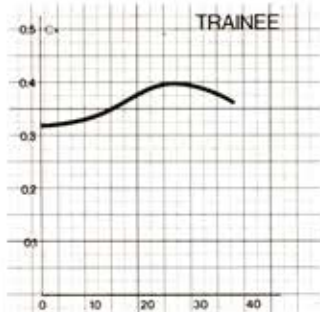
$$V_o = 84.5 \text{ mph (136 km/h)}$$

$$V_t = 25 \text{ mph (40 km/h)}$$

$$V_v = 80.8 \text{ mph (130 km/h)}$$

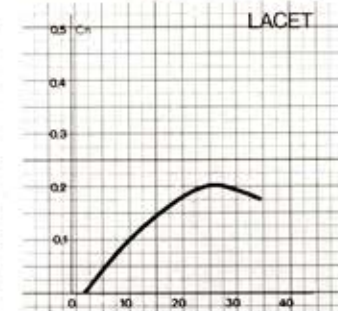
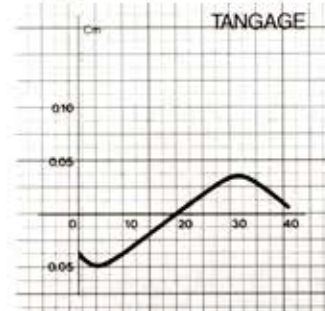
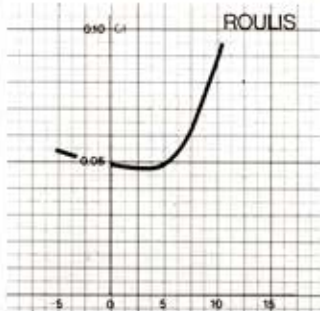
$$\beta = 17^\circ$$

Knowing the distribution of weights and lifts on the front and rear axles, it becomes possible to calculate the weight taken off



Diagrammes de variation des six coefficients de forces et de moments en fonction de l'angle de dérapage.

Variation diagrams for the six coefficients of forces and moments according to the side-slip angle.



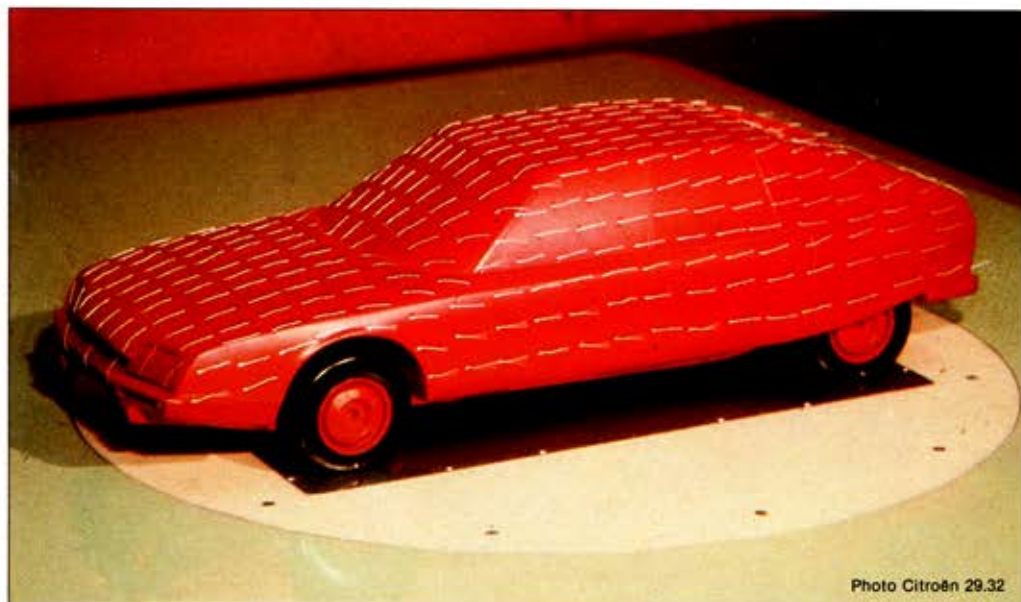


Photo Citroën 29.32

Visualisation des filets d'air en soufflerie par brins de laine fixés sur une maquette de CX à échelle 1/5.

Visualization of air fillets in a wind tunnel by means of strands of wool fixed to a 1/5 scale model of a CX

Par exemple, pour un véhicule de série, un poids total de 1 200 kg (800 à l'avant et 400 à l'arrière) : le délestage de l'essieu avant peut être de 1 000 N (98 kg) à 150 km/h avec un vent latéral de 80 km/h alors qu'une voiture de course peut avoir des délestages équivalents au poids sur l'essieu.

Avec les forces et moments il est aisé de définir par simple calcul la position du centre de poussée latéral par rapport au centre de gravité. C'est, avec la portance, un critère de stabilité de route.

② Visualisation des filets d'air

La visualisation de l'écoulement aérodynamique est indispensable à la compréhension et à l'analyse des résultats obtenus. Il existe deux méthodes couramment utilisées.

the wheels at all vehicle speeds with different side winds.

For instance, for a standard vehicle with a total weight of 2 640 lbs (1760 lbs forward, 880 lbs rear), the weight taken off the front axles may be 1 000 N (216 lbs) at 93.6 mph with a 50 mpg side wind, whereas a racing car may have a weight lift equivalent to the axle load.

Using forces and moments, it becomes easy, by simple computation, to define the position of the centre of lateral thrust in relation to the centre of gravity. Together with lift, this is one of the criteria of road stability.

② Visualization of air fillets

Visualization of air-flow is indispensable



Photo Citroën 29.35

Étude du parcours des filets d'air sur une maquette de Citroën Visa.

Study of the trajectory of air fillets on a model of a Citroën Visa.



Une Citroën Visa sur le plateau aérodynamique,
dans la veine d'essais de la soufflerie de Saint-Cyr l'École.

*A Citroën Visa on the aerodynamic test bed in the
wind-chamber of the Saint-Cyr test tunnel.*

Photo Citroën 29.26



Visualisation des filets d'air en soufflerie par coloration de fumée sur une maquette de CX à échelle 1/5

Visualization of air fillets in a wind tunnel with coloured smoke on a 1/5 scale model of a CX.

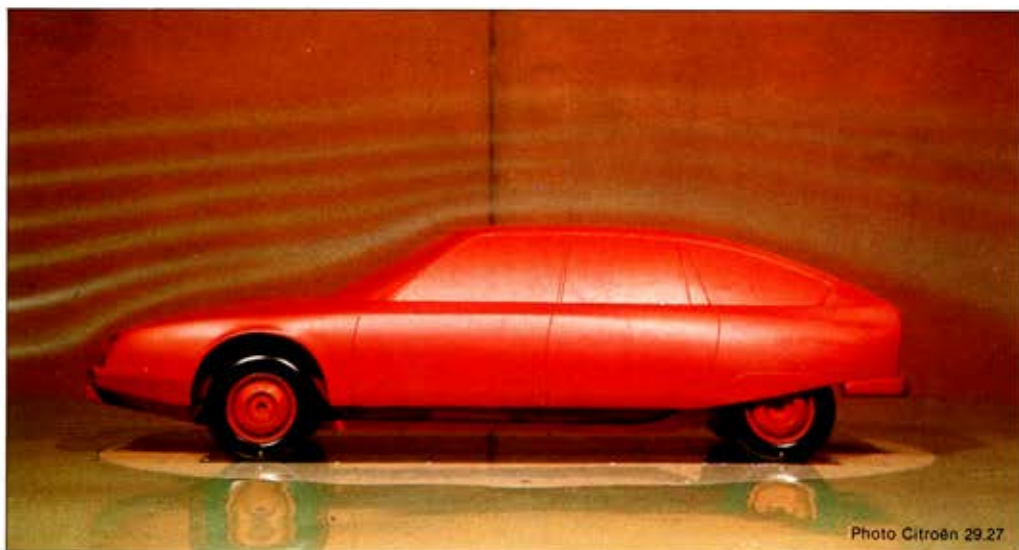


Photo Citroën 29.27

Fumées visualisantes : la maquette est présentée très légèrement de trois-quart afin de mettre en évidence le parcours de l'air au-dessus du capot-moteur

Visualization with smoke: the model is seen in a very slightly three-quarter view in order to show up the air flow over the bonnet.



Photo Citroën 29.28

• Visualisation des filets d'air avec des brins de laine collés sur le véhicule.

• Visualisation avec de la fumée produite par un ou plusieurs jets que l'on peut déplacer.

L'étude de l'écoulement des filets d'air permet notamment de rechercher comment compenser les effets aérodynamiques qui pourraient venir contrarier le fonctionnement de certains organes de la voiture.

Rien n'est simple ! C'est ainsi que l'amélioration (très souhaitable) du coefficient de traînée d'un véhicule peut être néfaste au refroidissement du système de freinage (très regrettable). C'est pourquoi lors des essais en soufflerie, des relevés de température sont effectués sur les différents organes du freinage. La visualisation de l'écoulement des filets d'air permet ensuite d'établir des moyens pratiques d'alimentation en air qui assureront le refroidissement indispensable des freins à disques.

Exemple : l'étude aérodynamique de la Citroën CX a entraîné la mise en place d'un système élaboré de refroidissement des freins : disques avant ventilés, tôles déflectrices forçant l'air vers le système de

to the comprehension and analysis of the results founded. Two methods are in current use:

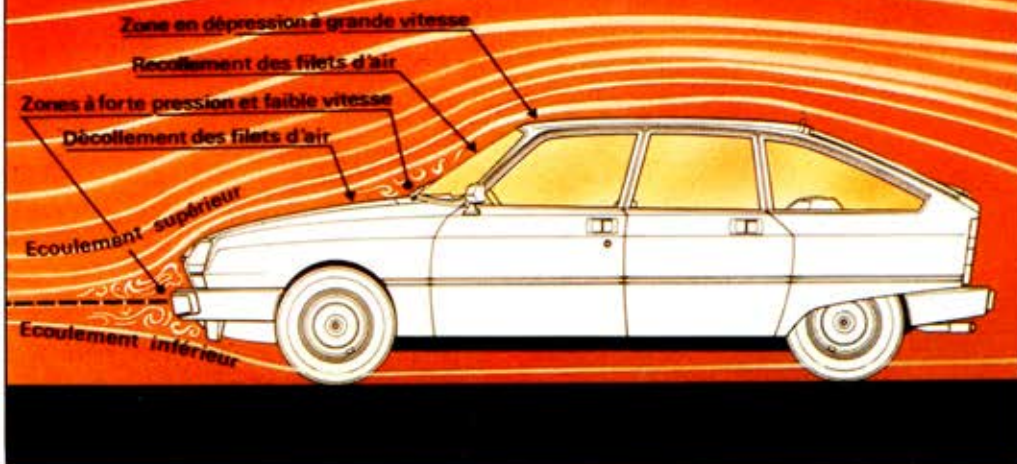
• Visualization of air fillets with strands of wool stuck to the vehicle

• Visualization by means of smoke produced by one or more movable jets.

The study of air-flow patterns makes it possible, among other things, to look for means of compensating any aerodynamic effects which might oppose the operation of certain components of the car. Nothing is ever simple! Thus the (highly desirable) improvement of a vehicle's coefficient of drag may prove detrimental to the cooling of the braking system (highly regrettable).

This is why, during wind-tunnel tests, the temperature of various braking-system parts are monitored. The visualization of air fillets then makes it possible to design practical means of air supply to ensure the indispensable cooling of disc brakes.

Example: the aerodynamic study of the Citroën CX led to the setting up of an ela-



Air-fillet flow over a Citroën GS.

freinage sur le pivot, guides d'air fixé sur le soubassement avant de la carrosserie.

③ Mesure des pressions

Ces mesures servent à résoudre partiellement les problèmes de refroidissement du moteur et de climatisation de l'habitacle. Les pressions s'expriment en coefficient sans dimension indépendant de la vitesse :

$$C_p = \frac{P - P_o}{\frac{1}{2} V^2}$$

L'équation de Bernoulli $\frac{1}{2} \rho V^2 + P = C^{te}$ le long d'un fillet d'air est valable en première approximation à l'avant du véhicule. Elle démontre que les zones à forte pression sont à vitesse d'air faible. Réciproquement, là où les filets d'air plaquent à la carrosserie il existe une dépression. (Le dessin aide à comprendre cette relation entre les vitesses d'air et les pressions en chaque point).

borate braking system: ventilated front brakes, sheet-steel deflectors forcing the air towards the braking system on the pivot, air guides fixed on the under-part of the front of the body.

③ Pressure measurements

These measurements help to provide a partial solution to the problems of engine cooling and passenger-cabin air-conditioning.

Pressures are expressed as a non-dimensional coefficient independent of speed:

$$C_p = \frac{P - P_o}{\frac{1}{2} V^2}$$

Bernoulli's equation : $\frac{1}{2} \rho V^2 + P = \text{Constant}$ along an air fillet is valid as a first approximation for the front of the vehicle. It proves that high-pressure areas have low air speed. Conversely, where the

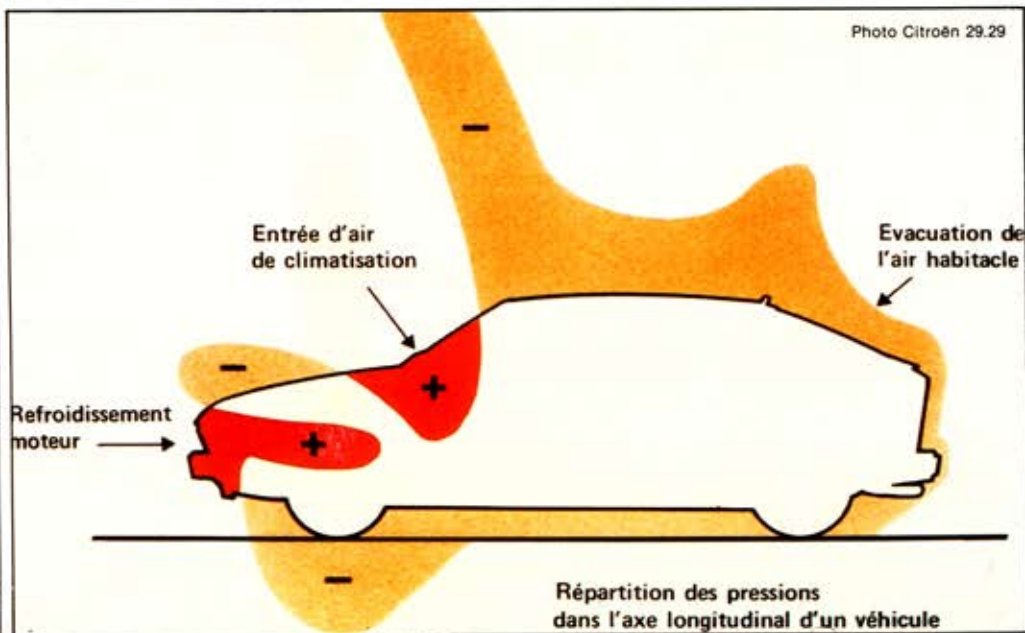


Photo Citroën 29.29

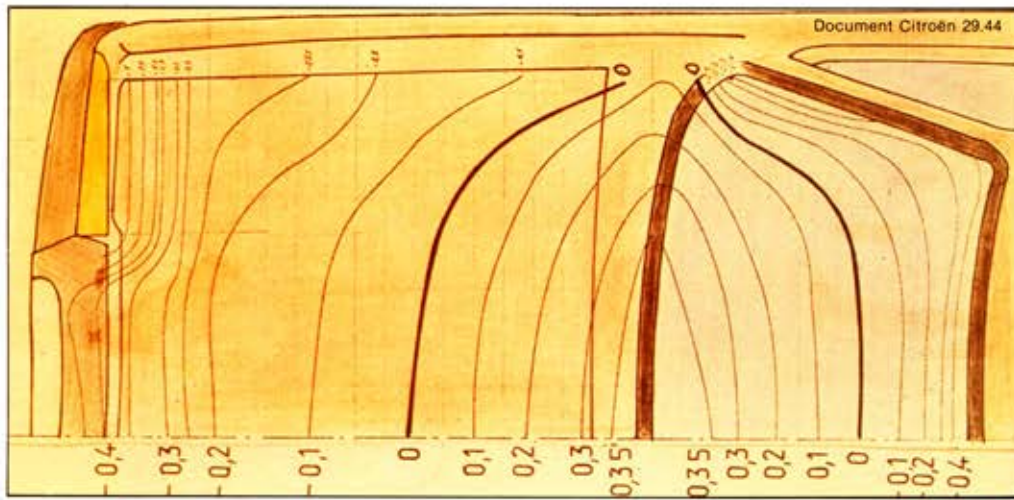
Répartition figurée des zones de pression (+) et de dépression (-) de l'air dans l'axe longitudinal d'une Citroën GSA.

Figurative distribution of areas and force of pressure (+) and of depression (-) exerted by the air along the longitudinal axis of a Citroën GSA.

Mesure de pression sur
une maquette de Citroën CX
à échelle 1/5 dans la veine d'essai
d'une soufflerie.

*Pressure measurements
on a 1/5 scale model
of a Citroën CX in
a wind-tunnel test
chamber.*





Les mesures de pressions permettent de tracer sur la forme du véhicule les lignes isobares, c'est-à-dire perpendiculaires aux filets d'air et matérialisant les lignes d'une même pression donnée.

Le choix de l'entrée d'air pour la climatisation de l'habitacle se fera dans la zone en pression située au pied du pare-brise.

L'AIR DES ÉCONOMIES

La puissance que le moteur devra fournir pour vaincre les résistances (exception faite des accélérations et de la gravité) est représentée par la formule :

$$W_{\text{roues}} = N \cdot W_m = \frac{1}{2} \rho C_x S V^3 + f \cdot M \cdot V.$$

Dans laquelle :

W_{roues}	= puissance aux roues motrices
N	= rendement des organes de transmission
W_m	= puissance sur l'arbre moteur
ρ	= densité de l'air
S	= projection frontale de la carrosserie
C_x	= coefficient de traînée
f	= coefficient de frottement
M	= masse du véhicule
V	= vitesse du véhicule
$\frac{1}{2} C_x S V^3$	= résistance aérodynamique
$f \cdot M \cdot V$	= résistance de roulement.

Les deux graphiques ci-après représentent l'un la formule ci-dessus chiffrée pour une voiture de série actuelle et l'autre ses consommations en litres aux 100 km en fonction de la vitesse. On constate l'importance de l'aérodynamique pour des vitesses voisines et supérieures à 90 km/h ainsi que la similitude des courbes de résistance et de consommation qui montre l'importance de l'aérodynamique pour les économies d'énergie.

air fillets cling to the body, there is a depression. (The drawing will help you to understand this relation between air speeds and pressures at any point).

Pressure measurements make it possible to trace isobars (lines perpendicular to the air fillets visualizing the lines along which pressure remains equal at a given value) on the vehicle's form.

The choice of the position of the air inlet for passenger-cabin air-conditioning will lie in the pressure zone at the foot of the windscreen.

AN AIR OF ECONOMY

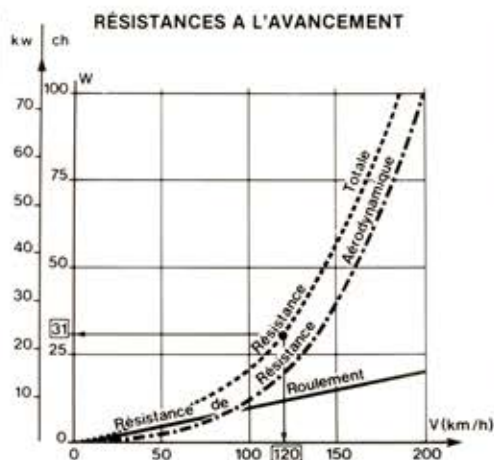
The power that the engine must develop in order to overcome different forms of resistance (apart from accelerations and gravity) is represented by the formula :

$$W_{\text{wheels}} = N \cdot W_m = \frac{1}{2} \rho C_x S V^3 + f \cdot M \cdot V.$$

where :

W_{wheels}	= power on driving wheels
N	= transmission efficiency
W_m	= power on engine output shaft
ρ	= air density
S	= frontal area of car
C_x	= coefficient of drag
f	= frictional coefficient
M	= vehicle mass
V	= vehicle speed
$\frac{1}{2} C_x S V^3$	= aerodynamic resistance
$f \cdot M \cdot V$	= running resistance

The two following graphs represent respectively the formulae above, applied to a current standard production car, and the car's consumption in litres per 100 km according to speed. We can note the importance of streamlining for speeds approaching and over 90 km/h (56 mph), and the similarity between resistance and consumption curves, demonstrating the important role played by aerodynamics in fuel saving.



Quand le $C_x S$ d'une automobile est amélioré de -10% , la consommation à 120 km/h est réduite de 7 %, à 90 km/h de 5 %, en circulation urbaine de 1 %.

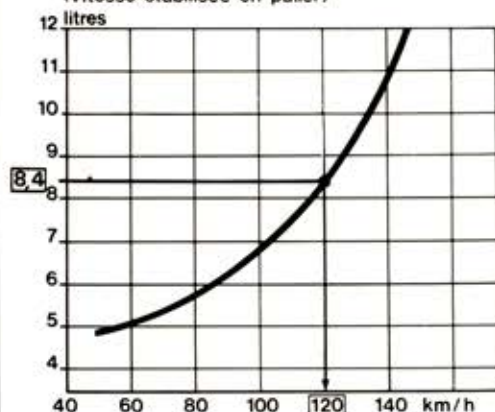
On peut améliorer les caractéristiques de résistance à l'avancement des automobiles par l'étude complète de carrosseries nouvelles.

Les carrosseries des berlines actuelles ont des coefficients $C_x S$ qui se situent de $0,575 \text{ m}^2$ pour les meilleures à $0,900 \text{ m}^2$ pour les moins bonnes, soit des C_x de 0,32 à 0,48.

On peut aussi procéder à l'amélioration aérodynamique de formes connues par adjonction d'éléments correctifs.

La résistance à l'avancement a été réduite sur la Citroën GSA X3 par adjonction

CONSOMMATION EN LITRES / 100 KM
(Vitesse stabilisée en palier)



When a car's $C_x S$ is improved by -10% , consumption at 120 km/h (74.6 mph) goes down by 7 %, at 90 km/h (56 mph) by 5 %, in town traffic by 1 %.

The characteristics of motor cars' resistance to motion can be improved by entirely redesigning their bodywork.

The bodies of current 4-door saloons have $C_x S$ coefficients lying between 0.575 m^2 (6.19 sq.ft) for the best and 0.900 m^2 (9.69 sq.ft) for the least good, or C_x of between 0.32 and 0.48.

The improvement of known aerodynamic forms can also be achieved by fitting corrective adjuncts.

The drag of the Citroën GSA X3 has been reduced by the addition of a forward spoi-

Pour rouler à 120 km/h	Il faut:	ch	$C_x S$
	B2 (1921)	75	1,437
	TRACTION (1934)	56	1,230
	DS (1956)	48	0,817
	GSA X3 (1980)	31	0,575



Photo Malaré (Citroën 29.48)

Sous le pare-choc avant : le « spoiler » de la GSA X3.

Unter der vorderen Stoßstange : der « Spoiler » des GSA X3

d'un spoiler à l'avant (qui joue le rôle de déflecteur d'air et réduit le débit d'air sous la caisse), d'un becquet sous la lunette arrière (qui réduit la traînée en modifiant les caractéristiques de portance arrière) et d'un rétroviseur plus aérodynamique. Le spoiler améliore le C_x de 2,7 %, le becquet de 7,5 %. Les deux ensembles améliorent le C_x de 10 % et réduisent la consommation de 7,5 % à 120 km/h.

SOUFFLER N'EST PAS JOUER

Cependant, si dans l'avenir chaque constructeur devra obtenir des formes les plus aérodynamiques possibles, le résultat de ces études restera toujours subordonné aux possibilités sociologiques et réglementaires (impossibilité de produire des voitures extrêmement longues et basses, par exemple) comme il demeurera combiné aux démarches propres des stylistes.

A ce titre, on peut relever le contresens commis à la fois par stylistes, constructeurs, journalistes et public à propos d'équipement comme spoiler et becquet, considérés par tous comme les attributs optionnels d'une voiture de sport, alors que (lorsqu'ils sont bien calculés) il s'agit avant tout d'économiseurs d'énergie qui pourraient facilement et à moindre frais être prévus en série.

ler (which acts as a deflector and reduces the air-flow under the body) and of an aerofoil beneath the rear window (which reduces drag by modifying the rear lift characteristics), and by fitting a better streamlined rear-view mirror. The spoiler improves the C_x by 2.7 %, the aerofoil by 7.5 %. Both together improve the C_x by 10 % and reduce petrol consumption by 7.5 % at 120 km/h (74.6 mph).

HUFFING IS NOT TO RECKON A MOVE

And yet, if in the future every manufacturer is to be faced with achieving the best aerodynamic shapes, the results of these studies will always remain subordinate to sociological and legal possibilities (impossibility of producing extremely long, low cars, for instance), just as it will remain combined with the stylist's own trends.

In this respect, let us point out the misconception of which stylist, manufacturer, journalist and public alike are guilty about items such as spoilers and aerofoils, considered by one and all as optional extras for a sports car, whereas in fact, when, properly designed, they are first and foremost energy economisers which could easily and cheaply be provided for in standard production models.

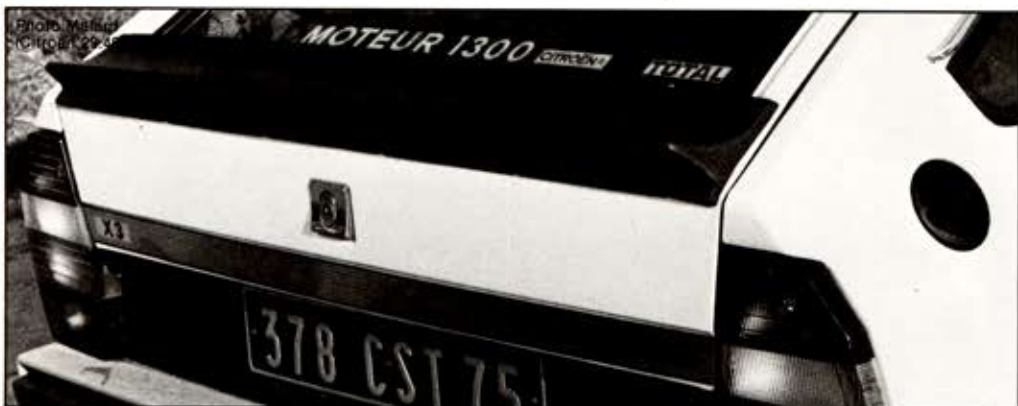


Photo Malaré (Citroën 29.48)

En bas de la lunette arrière : le becquet aérodynamique de la GSA X3

At the base of the rear window : the GSA X3's streamlining "aerofoil".

Sachant que la forme de la carrosserie est un facteur important de la décision d'achat d'une automobile, c'est le styliste qui fait, chez Citroën, la synthèse des études de carrosserie en tenant compte des différentes contraintes qui lui sont imposées :

1) des contraintes de volume pour l'encombrement, l'habitabilité, le moteur, le logement du réservoir, de la roue de secours, et le coffre.

2) des contraintes d'accessibilité pour le nombre de portes et de visibilité pour les glaces.

3) des normes pour les pare-chocs, les phares, les feux arrière, les clignotants, les plaques de police, etc...

4) des contraintes liées à la fabrication telles que les problèmes d'emboutissage et d'assemblage des tôles qui imposent un certain découpage de la forme en différents éléments.

DES AUTOS DANS LE VENT

L'aérodynamicien, quant à lui, contrôle le résultat obtenu sur les premières formes réalisées et suggère des améliorations éventuelles au styliste. Toute l'efficacité de leur collaboration apparaît dans la détermination d'un objectif ambitieux de performances aérodynamiques et dans l'aptitude à le réaliser par une forme qui séduit.

Ce mode de collaboration entre styliste et technicien a caractérisé et caractérise la genèse des modèles Citroën.

Bien avant qu'il soit question de crise de l'énergie mais par simple logique et recherche d'une démarche cohérente en matière de création de carrosserie, les modèles Citroën ont obtenu des valeurs de $C_x S$ exemplaires et reconnues comme telles par les spécialistes du monde entier.

Ces études, depuis longtemps entreprises, valent aujourd'hui à Citroën une avance non négligeable dans le domaine de l'influence des « bonnes formes » sur les réductions de consommation de carburant.

Knowing that the shape of the body weighs heavily in the decision to buy a car, it is the stylists, at Citroën's, who combine the results of body studies with respect of the various restrictions they must comply with :

(1) volume restrictions regarding overall dimensions, inside spaciousness, the engine, location of the tank, the spare wheels and the boot.

(2) accessibility restrictions for the number of doors and visibility restrictions for the windows.

(3) standards for shock absorbers, headlamps, rear lights, traffic indicators, number plates etc...

(4) restrictions connected with production, such as stamping and assembly problems with sheet metal whose nature imposes the shape's being cut up in various elements.

CARS IN THE WIND

The aerodynamicist, for his part, has to check the results found with the first few shapes made up, and to suggest possible improvements to the stylist. The entire effectiveness of their collaboration takes form in their definition of an ambitious aerodynamic performance project and in their aptitude to achieve it in a seductive form.

This mode of collaboration between stylist and technician has been and remains characteristic of the genesis of Citroën models.

Long before the energy crisis was upon us, and by mere logic and a desire for a coherent approach to car-body design, Citroën models had already achieved exemplary $C_x S$ values recognized by specialists the world over.

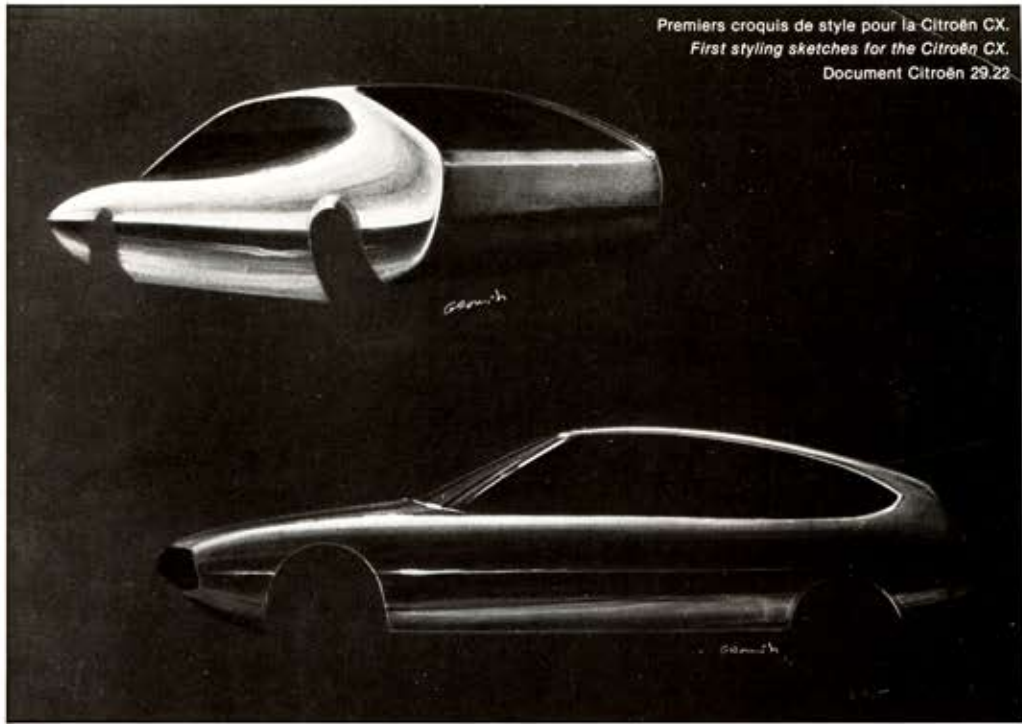
These studies undertaken years ago now ensure for Citroën a far from negligible advance where the influence of "the right shape" on reducing fuel consumption is concerned.

Dessin Bertoni (Document Citroën 29.50)



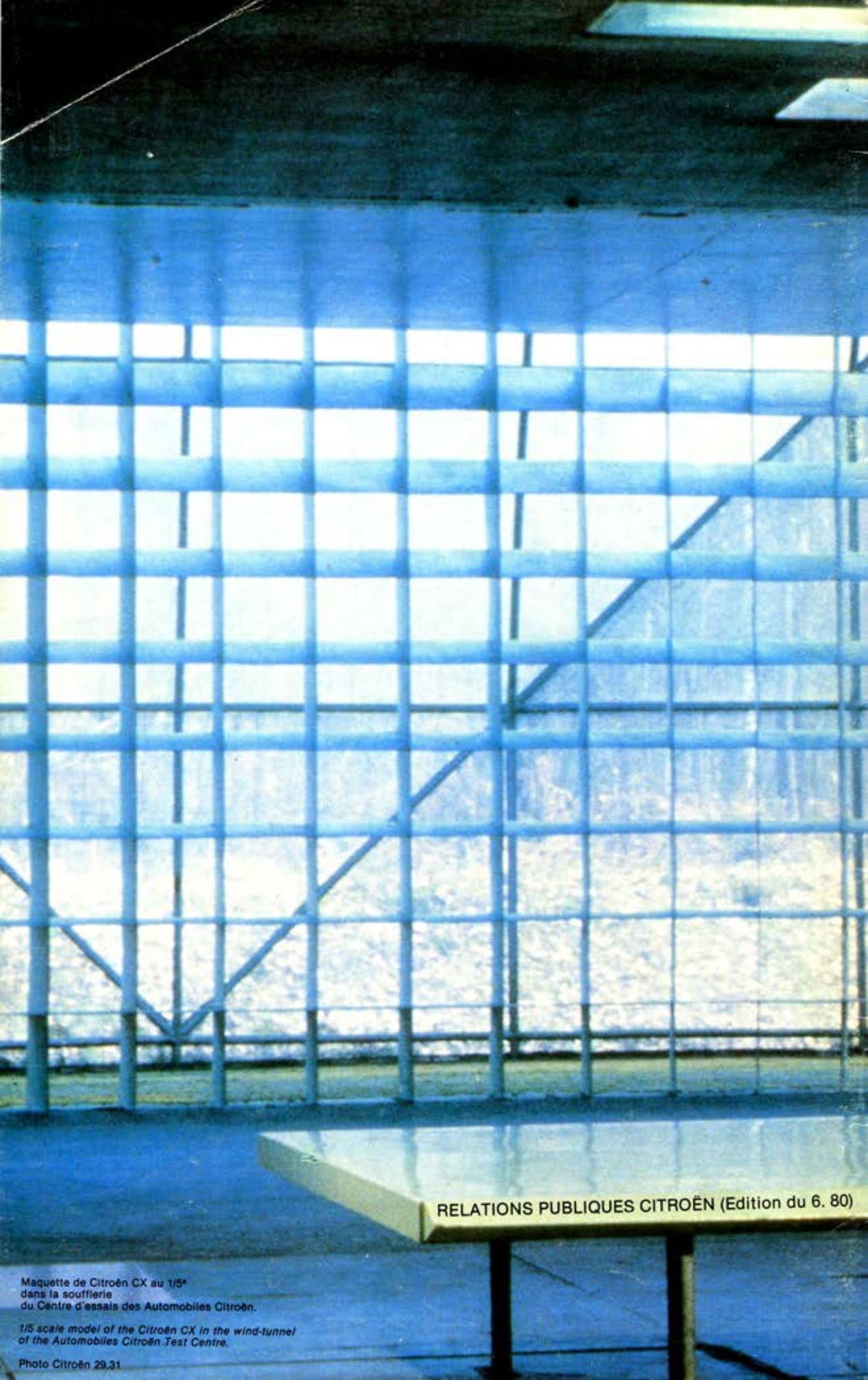
Quand le styliste va au-devant de l'aérodynamicien : en 1949, étude de Bertoni, styliste du Bureau d'Études Citroën, pour la future DS 19.

Stylists sometimes meet the aerodynamicists half way: in 1949, a study by Bertoni, a stylist in the Citroën Design Department, for the future DS 19.



Valeurs des coefficients aérodynamiques de quelques modèles Citroën en configuration de route

Modèles	C _x	S (m ²)	C _x S (m ²)
D Spécial	0,382	2,136	0,817
CX	0,369	1,924	0,709
Visa Super	0,391	1,731	0,677
LNA	0,392	1,700	0,667
SM	0,339	1,952	0,662
Visa Club	0,378	1,747	0,660
GS 1220 Club	0,361	1,809	0,653
GSA Club	0,345	1,809	0,624
GS X 3	0,332	1,809	0,600
GSA X3	0,318	1,809	0,575



RELATIONS PUBLIQUES CITROËN (Edition du 6. 80)

Maquette de Citroën CX au 1/5^e
dans la soufflerie
du Centre d'essais des Automobiles Citroën.

*1/5 scale model of the Citroën CX in the wind-tunnel
of the Automobiles Citroën Test Centre.*

Photo Citroën 29.31