*"Causerie" à la Soufflerie Eiffel*
*Paris, rue Boileau,*
*9 Décembre 2017*

# *Histoire d'une controverse* : LA CD 64 EST - ELLE LA FILLE D'ÉOLE ?

## Nécessité d'une Analyse - Synthèse approfondie de l'ensemble des facteurs

*Jean ALAMI*

# Une icône à deux faces

**La CD 64 est une voiture de course conçue par la SERA de Charles Deutsch afin de courir les 24 heures du Mans en Juin 1964**
**Elle fut étudiée en Soufflerie en Février et Mars 1964 dans le Laboratoire Eiffel historique de la Rue Boileau (Paris XVIème)**
**C'est lors de ces deux campagnes d'essais aérodynamiques que fut peaufinée sa ligne caractéristique aux dérives AR vrillées**

**Le Prototype fut donc extrapolé de la maquette d'essais à l'échelle 1/5 et lors de sa mise au point, sa stabilté déjà très bonne fut encore améliorée avec des pneumatiques plus larges que les initiaux prévus (donc nécessita des flancs élargis de même)**

**Ses dimensions sont : Longueur et empattement 4m29 et 2m27 - Largeur 1m64 et hauteur 1m07 - Poids à vide estimé 560 kg**
**Comme durant les *années 50* avec DB, Charles Deutsch fit appel au brillant bicylindre PANHARD refroidi par air, assorti cette fois-ci d'un "surpresseur" SFERMA afin que les 848 cm3 soient acceptés par le règlement sportif en vigueur en 1964. Ce dernier ne fonctionnait qu'à "pleins gazs" et octroyait au mieux 20% de couple supplémentaire. Puissance maxi estimée 70 ch**

**Affirmation n° 1 de la part de la SERA :**
**Le Cx de la voiture de course était de 0,12**
**Le modèle atteignait facilement 220 km/h pour 64 ch**

**Affirmation n° 2 de la part de ses détracteurs :**
**Prétentieux ! Le Cx réel valait quasiment 0,20**
**Vu les performances réalisées, un simple calcul suffit à le vérifier !**

**Alors quelle affirmation est - elle plus proche de la réalité ?**

# Le contexte : des hommes aux destins croisés…

**Charles DEUTSCH** (1911 - 1980)
Polytechnicien, s'associa à René BONNET (1903-1968) pour créer les ***D.B.*** après-guerre jusqu'en 1961. Créa la ***SERA - CD*** qu'il dirigea de 1962 à 1976 puis passa la main...Directeur de la SIA et des 24 h du Mans. Esprit vif, défricheur de terrain...

**DB** victorieuse à l'***Indice de Performance*** 1956

Celui qui institua les "Causeries" du soir à la Soufflerie

**Lucien ROMANI** (1909 - 1990)
Crée le B.E.S.T.(1946-66) avec son frère Consultant aérodynamicien (pionnier de l'Energie éolienne), devint Directeur de la soufflerie Eiffel de 1966 à 1982.
Autodidacte, fort esprit original et curieux de tout, penseur de la Physique, écrivain...

**Marcel HUBERT** (1923 - 2016)
Travailla pour le CNRS puis fut rattaché au B.E.S.T. de 1946 à 1962 où il apprit avec ROMANI son métier d'aérodynamicien.
Après avoir œuvré sur la CD 62, il fut chargé par RÉDELÉ de profiler les protos **Alpine** qui devint Renault Sport (1962 - 82)

**Marcel CHABONAT** (1900 - 1980)
Directeur de la soufflerie Eiffel de 1939 à 1965; engagea Martin PETER comme technicien en 1959.
Chercheur et inventeur, il suggéra la forme elliptique de la Soufflerie de Meudon, et étudia les écoulements instationnaires...

**Soufflerie de Chalais-Meudon** - 1935

**Robert CHOULET** (1935)
Ingénieur Centralien"dynamicien"
Il conçoit très jeune des protos et rejoint la ***SERA-CD*** en 1962. L'expérience avortée de la Matra 640 sert aux Porsche 917...
Créée ***Aérodyne*** en 1983 puis travaille pour ***Peugeot*** puis ***Toyota***.

**Martin PETER** (1937)
Depuis 1959 à la Soufflerie Eiffel. Il devint l'assistant de Lucien ROMANI puis son successeur à partir de 1983, et enfin le Conservateur de la soufflerie, ayant sauvegardé la majeure partie des études menées depuis l'époque de Gustave Eiffel.

**CD 66** (Peugeot)

**Alpine** - Renault **M 65**

**Essai d'une maquette** (Echelle 1/4) **d'une F1 Wing-Car**

**Matra 640** - 1969

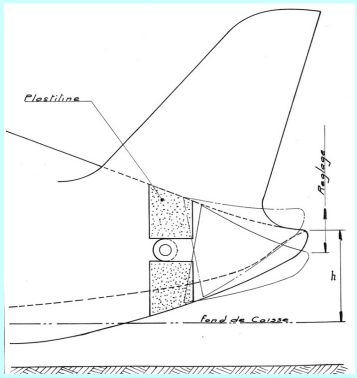
**Renault** Alpine **A 442 B** - 1978

**Essai** (échelle1!) **de l'Av de la 905 avec Roue tournante**

**Porsche 917 LH** - 1971

**Tenue aux vents des bâtiments**

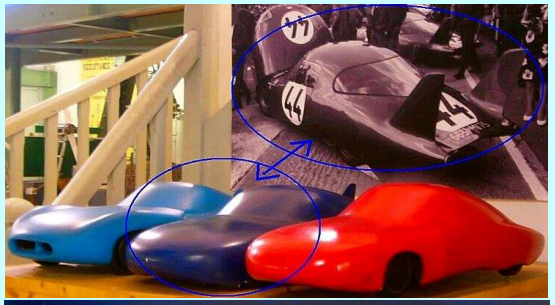
# Les données d'essais Aéro et la transposition de la maquette de soufflerie au proto sur piste




**Montage sur maquette afin d'en faire varier le profil de queue et de le régler pour optimiser les Cz AV et AR légèrement négatifs.**
**En association avec les deux dérives verticales**

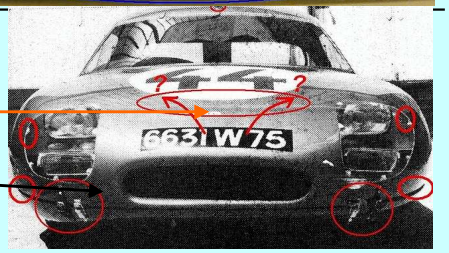
Deux campagnes d'essais se déroulent à la Soufflerie Eiffel en **Février** et **Mars 1964**.
Entre les deux campagnes, la maquette va se passer de stabilisateur horizontal monté entre dérives verticales puisqu'il est décidé d'allonger et d'infléchir verticalement l'AR en pointe, en association avec le profil du dessous de maquette.
Les fameuses **dérives** sont désormais **vrillées** afin d'épouser l'écoulement d'air - rentrant à la base et parallèle au sommet - et font appel à un profil NACA 63.
L'étude est notamment menée par Lucien ROMANI qui règle le profilage, et se base sur les travaux de stabilité menés par Robert CHOULET
Le travail aérodynamique est remarquable, puisqu'à 28 m/s Echelle 1/5 (soit un Reynolds de 4,0E+6 -corrigé du critère de turbulence- ) sont obtenus :
**Cx 0,096**
Cz Av -0,01 ; Cz AR -0,06 ; soit **Cz -0,07**
tout en assurant de bonnes dérivées de stabilité latérale et en tangage.
Les dimensions de la maquette transposées à l'échelle 1 sont :
Longueur 4m29, largeur 1m575, hauteur de carrosserie 0m94 soit 1m06/07 hors tout
Le maître-couple de référence est déterminé à 1,365 $m^2$

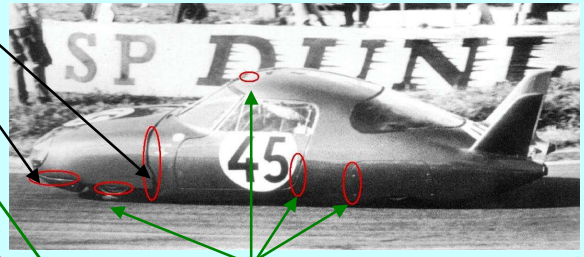
**Maquettes de soufflerie à Eiffel, rue Boileau**
**la CD 64 au milieu, le Proto réalisé en photo**
**Comparer l'absence de toute imperfection avec celles du Proto ci-dessous**



## De la maquette au véhicule réel s'invitent des imperfections contraintes ou non...

| | | | |
|---|---|---|---|
| raccords capot/carrosserie | Bouclier Avant | 0,005 | |
| | Coques Phares | 0,001 | |
| | Attaches Capot frontales | 0,005 | |
| | Périmètre Aval | 0,004 | |
| | | **0,015** | |
| Refroidissement (captation de flux sans evacuation profilée av | | **0,010** | |
| Perméabilités Roues (influence Ar négligeable) | | 0,004 | |
| Etanchéité portes et couvercles de roues Ar, trappes diverses | | 0,005 | |
| Rétroviseur droit avec interaction cockpit | | 0,004 | |
| protubérances diverses | | 0,002 | |
| | | **0,015** | |
| Ligne d'échappement sous plancher non carénée | | **0,018** | Pression positive d'échappement minorant la perte |
| Assiette légèrement modifiée en course | | **0,003** | Le Cx augmente légèrement, induit par légèrement plus d'appui |
| Etat de surface carrosserie (au mieux) | | **0,002** | |



| | | |
|---|---|---|
| Perte de qualité en SCx | | **0,063** |
| S maître-couple d'origine : **1,365 m2** | | |
| Cx maquette 1/5 à Reynolds 4E6 : | **0,096** | |
| **SCx d'origine** | | **0,131** |
| SCx avec perte de qualité (S d'origine) | | **0,194** |
| Accroissement du Maître-Couple par élargissement des flancs suite à monte de pneus plus larges (largeur totale : 1640 mm/1575 mm) | | |
| ***Delta Maître-Couple hors pneus : environ +0,042 m2*** | | |
| Augmentation proportionnelle du SCx (par 1,407/1,365) : | | 0,200 |
| Pneumatiques plus larges en partie carénés (part 0,003 m2) | | **0,006** |
| SCx estimé du Proto avec ses imperfections transposé en Soufflerie * | 0,206 Soit S 1,407 m2 * Cx 0,1464 | |

**Adoptons en valeurs arrondies :**
**S proto : 1,41 m2 × 0,146**
**(*) 0,146 transposé à Eiffel échelle 1/5**

**On estime également le Cz négatif passer de - 0,07 à - 0,15 en raison de l'absence de couche limite sur piste par vent nul ce qui permet un débit donc dépression plus forte ss plancher**

# Récapitulations et Conclusion

**Constats**

*** La résistance de roulement est difficile à estimer et elle conditionne pourtant en bonne partie le résultat de vitesse atteinte**

**Une fois bien estimée, elle demeure difficile à définir avec une simple formule car on ne fait que l'approcher au mieux avec une loi de type a + b×V$^n$**

Il fallut attendre pratiquement la fin des années 60 pour voir de forts progrès se réaliser en adhérence et en diminution de roulement sur les pneumatiques de compétition, avant que la série n'en bénéficie à son tour

*** Plus un véhicule est profilé, plus il bénéficie, au fur et à mesure qu'il prend de la vitesse, de la baisse relative de son Cx**

En effet, puisqu'on peut écrire Cx = Cxf + Cxp (Traînée de frottement + Traînée de pression) avec Cxf qui diminue avec la vitesse, plus Cxp est réduit, plus Cx diminue relativement

On n'oubliera pas cependant que le Cx augmente de nouveau aux fortes vitesses à cause de la compressibilite de l'air

*** La part de Puissance consommée par l'aérodynamique augmente avec la vitesse avant de se stabiliser** (selon l'augmentation du roulement aux fortes vitesses)

Remarquons qu'elle se stabilise d'autant plus vite (avant de rediminuer) que le véhicule bénéficie de déportance qui génère de l'appui supplémentaire

**Ainsi donc, dans la formule qui chiffre cette part** (voir Page 4) **$\eta_a$P = Ra**, **les calculateurs pressés ont retenu la valeur,** alors en vogue dans les années 80(!), **de 80% pour $\eta_a$ , et par conséquent ont trouvé : [80%×(64ch×736)/0,6125/(220km/h/3,6)^3] / 1,36m$^2$** (au lieu de 1,41m$^2$) **soit Cx arrondi à 0,20**

**Sauf qu'ils se sont trompés d'époque !**

**En menant consciencieusement notre enquête, nous avons pu voir que $\eta_a$ ne dépassait pas 56%, voire s'approchait de 50% une fois la CD64 optimisée, et c'est ainsi que le Cx se retrouvait nettement inférieur à 0,14,** voire inférieur à 0,11 une fois optimisée (comme l'avait été le CD62 trois mois après le Mans)

**C'est donc l'affirmation n°1 (celle de la SERA), contrairement à la n°2, qui est largement plus proche de la réalité !**
(au moins trois à quatre fois plus proche)

**Le Coin du Philosophe**

Il faut donc se méfier des a priori car on peut être parfois profondément induit en erreur...
Il est toujours bon de prendre du recul et procéder à de petites vérifications et recoupements

*C'est un vibrant hommage que je désire porter à tous ces hommes, ceux en particulier de la page 3, pour leur amour du travail bien fait, pour leur compétence mais aussi leur honnêteté intellectuelle, et à tous ceux et celles de bonne volonté qui ont suivi et suivent leur exemple.*

**Bibliographie :**


* Aérodynamique expérimentale - **REBUFFET** - 1950
* l'Aérodynamique et l'origine des traînées parasites - Ewald **HUNSINGER** et Michaël **OFFERLIN** - 1997
* *Articles sur l'Aérodynamique parus dans AUTOHebdo n°229 et n°257* - 1980 et 1981
* Eiffel, la bataille du Vent - Martin **PETER** aidé de Jean Pierre **CUISINIER** - 2007
*** *consulté les rapports du BEST - Lucien **ROMANI** - 1961 à 1964, avec l'aimable autorisation de Mr **PETER***

# Annexe sur la Soufflerie Eiffel, privilégiée par la SERA - CD

**Histoire : L'ingénieur Gustave Eiffel entreprend en 1903, à l'âge de 71 ans, d'effectuer 3 ans de sérieuses expériences aérodynamiques en se servant... de sa Tour (les premières expériences remontent à 1892). Puis il construit au pied de cette dernière, en 1909, une première soufflerie, en recevant la confirmation par Henri Poincaré de la validité du principe de mouvement relatif. Enfin, il se réinstalle dans les locaux actuels rue Boileau( Paris 16è), en construisant en 1912 la soufflerie qui bénéficie de l'innovation du Diffuseur (permettant un appréciable gain d'energie) et qui est toujours en activité.**

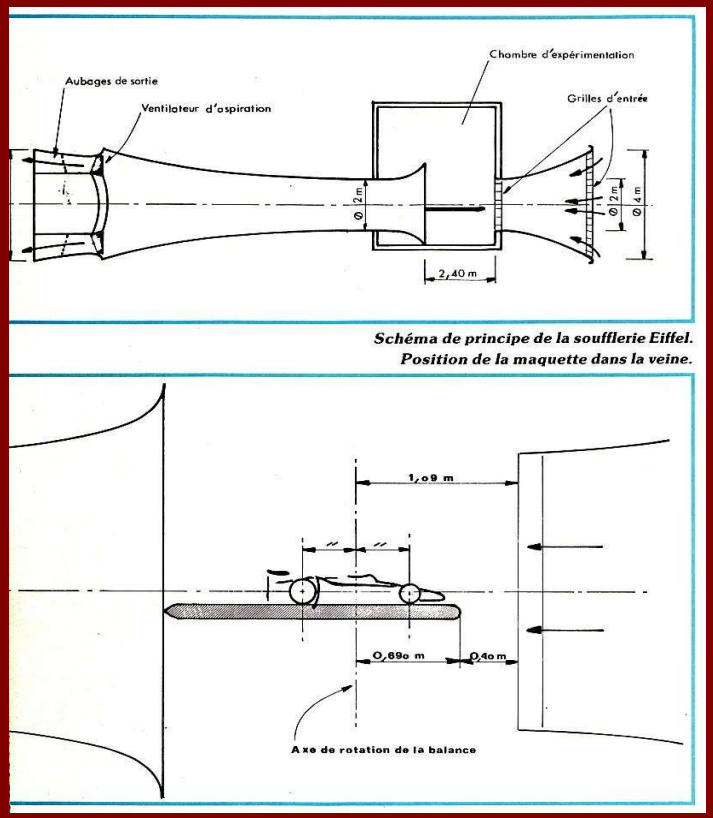



*Schéma de principe de la soufflerie Eiffel.*
*Position de la maquette dans la veine.*

**Caractéristiques de la Soufflerie Eiffel :**
Soufflerie du type "Eiffel" ouvert à veine cylindrique libre d'un diamètre de 2 mètres.
(Les souffleries à retour à veine guidée sont dites de type "Prandtl")
La vitesse du Vent y est variable de 1 km/h à un peu plus de 100 km/h (28 à 30 m/s maxi)
Durant les années 60, la chambre d'expérimentation se dote progressivement d'instruments modernes de mesure et une balance électronique à 6 composantes apparaît au tournant des années 70.
Depuis, les chaînes de mesures et d'acquisitions n'ont cessé de se perfectionner...

L'appréciation par Robert CHOULET de la SERA-CD (au tournant des années 80) :
Certes, c'est une soufflerie à échelle réduite lorsqu'il existe désormais des souffleries à échelle 1, elle ne bénéficie pas d'un tapis roulant ni d'aspiration de couche limite, les roues ne tournent pas, la vitesse y est relativement faible (cela importe peu du moment qu'on a le régime turbulent).
Cependant l'accès aux maquettes est simplifié, et les modifications qu'on y apporte peuvent se suivre rapidement, les roues tournantes peuvent être simulées par des artifices géométriques.
Le plancher est tellement lisse et les maquettes positionnées en avant de telle façon que la couche limite qui se développe au plancher demeure faible.
Enfin c'est la simplicité de principe de cette soufflerie qui, plutôt qu'un cumul d'inconvénients tributaires de la technologie, en fait une qualité.

C'est bien dans cette soufflerie qu'ont été développées et mises au point aérodynamiquement les fabuleuses Porsche 917 L et Can-Am (imbattables à leur époque) et les F1 "WingCars" telles les Ligier JS11 victorieuses en 1979. Alors ?...

***Alors, il ne faut pas perdre de vue que le véritable travail de l'ingénieur , notamment aérodynamicien, est de n'être pas tributaire d'un seul type de technologie, de savoir interpréter les résultats, savoir effectuer des recoupements avec des examens complémentaires, et en clair dans le cas présent, savoir passer de la soufflerie ou du calcul à la piste (le terrain) et vice-versa.***

***C'est ainsi que la bonne maîtrise de moyens simples, que certains pourraient jugés simplistes, assortis cependant de discernement et bon jugement oeuvrent davantage dans la qualité des résultats obtenus que n'importe quelle débauche de moyens technologiques.***