



MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
PLACE HAUTE-VILLE, 24^e ÉTAGE
700 EST, BOUL. ST-CYRILLE
QUÉBEC, QUÉBEC, G1R 5H1

DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

INFLUENCE DES CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES
DU SYSTÈME "CABINE-REMORQUE-DÉFLECTEUR"
SUR LA TRAÎNÉE AÉRODYNAMIQUE
DES VÉHICULES TRACTÉS

Jean-Claude Menneron
Département de génie mécanique
Université de Sherbrooke

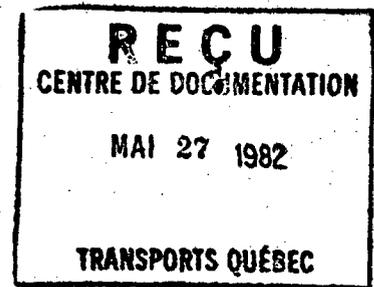
FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

CANQ
US
166

494932

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
PLACE HAUTE-VILLE, 24^e ÉTAGE
700 EST, BOUL. ST-CYRILLE
QUÉBEC, QUÉBEC, G1R 5H1



INFLUENCE DES CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES
DU SYSTÈME "CABINE-REMORQUE-DÉFLECTEUR"
SUR LA TRAÎNÉE AÉRODYNAMIQUE
DES VÉHICULES TRACTÉS

Jean-Claude Menneron
Département de génie mécanique
Université de Sherbrooke

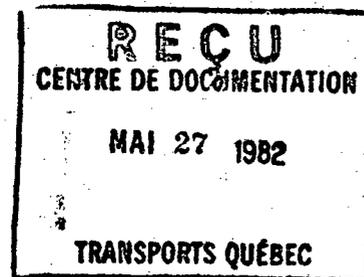
CANQ
BS
166



Rapport No	Code de classement RTQ-82-05	Date du rapport
Titre du rapport: Influence des caractéristiques géométriques du système "cabine-remorque-défecteur" sur la traînée aérodynamique des véhicules tractés.		Rapport d'étape <input type="checkbox"/> Rapport final <input checked="" type="checkbox"/>
Auteur(s) du rapport: Jean-Claude Menneron		No du projet d'étude ou de recherche: 2-019-79
Objet de l'étude ou de la recherche: Déterminer la position optimale des déflecteurs en fonction des caractéristiques des véhicules en vue d'une réduction de la traînée.		No du contrat 1140-79-143
Etude ou recherche financée par: (Nom et adresse de l'organisme) Ministère des Transports du Québec Université de Sherbrooke		
Etude ou recherche réalisée par: (Nom et adresse de l'organisme) Université de Sherbrooke Département de Génie mécanique		
Renseignements complémentaires:		
<p>Résumé du rapport</p> <p>Ce rapport présente les résultats d'une étude de l'effet des différentes caractéristiques géométriques "camion-remorque-défecteur" sur la traînée aérodynamique d'une maquette placée dans un écoulement faiblement turbulent. Les essais ont été effectués dans la soufflerie S1 du département de Génie mécanique de l'Université de Sherbrooke.</p> <p>Le rapport illustre les relations entre les divers paramètres lorsque le coefficient de traînée atteint sa valeur minimale. Il conclut par exemple qu'en pratique, il est préférable de choisir un grand déflecteur calé à un angle faible.</p>		
Mots-clés	Diffusion autorisée <input type="checkbox"/>	Directeur général
	Diffusion restreinte <input checked="" type="checkbox"/>	
	Diffusion interdite <input type="checkbox"/>	Date:
	Révision par le Comité de direction <input type="checkbox"/>	

RESUME

K.R. Cooper [1] en étudiant plusieurs types de dispositif diminuant la traînée aérodynamique démontre qu'il est possible de réduire la consommation de carburant des véhicules tractés ou non. Dans cette même étude on relie directement la consommation au coefficient de traînée et de ce fait il apparaît qu'une étude systématique d'un certain type de déflecteur devient nécessaire. Le présent rapport montre l'effet des différentes caractéristiques géométriques "camion-remorque-déflecteur" sur la traînée aérodynamique d'une maquette placée dans un écoulement faiblement turbulent. Les essais ont eu lieu dans la soufflerie S1 du département de génie mécanique de l'Université de Sherbrooke.



I - INTRODUCTION

Plusieurs auteurs ont étudié sur des maquettes en soufflerie différents types de dispositif devant réduire la traînée aérodynamique d'un camion. Un des premiers, K.R. Cooper [1] [2] [3] [4] effectuera de nombreux essais sur les différents types de dispositif actuellement disponibles sur le marché; montés sur un même camion il a été possible de dégager le meilleur système compte tenu des conditions aérodynamiques (vent de face ou de travers). Dans "Motor Truck", K.R. Cooper et B. Holmes [5] d'une part et P. Schenck [6] d'autre part, montrent l'efficacité relative de certains dispositifs spéciaux (stabilisateurs d'écoulement dans les coins de la remorque, séparation en arrière de la cabine, protubérance sur la partie frontale de la remorque, etc.). L'Université de Maryland également s'est intéressée au problème et, dépendant de l'angle de dérapage du vent par rapport à l'axe du camion, la traînée aérodynamique de quelques dispositifs a été mesurée [7]. Quelques explications sont fournies sur l'évolution de la traînée aérodynamique en fonction de l'angle de dérapage [8]; en effet le maximum de traînée est obtenu à partir d'un vent de travers. Ainsi le dispositif devra être efficace pour les vents de face et les vents de travers; dans ce dernier la forme de la remorque devient très importante car la partie sous le vent engendre de nombreux tourbillons qui provoquent l'augmentation de traînée et cause dans certains cas une augmentation des vibrations.

La soufflerie constitue un instrument essentiel dans ce type d'essai, puisqu'il est possible de simuler la pénétration du camion dans l'air immobile. Quelques problèmes peuvent survenir, notamment au niveau du blocage [9] et surtout lorsqu'il faut simuler l'effet de sol [10], mais il est souvent possible de remédier à ces difficultés en effectuant des essais comparatifs qui démontrent le gain ou la perte de traînée par rapport à une traînée nominale choisie comme base. C'est ce qui a été fait au département de génie mécanique de l'Université de Sherbrooke, d'autant plus que la maquette du camion utilisé ne peut en aucun cas représenter fidèlement le camion réel; en effet les enjoliveurs, essuie-glace, rétroviseur, etc. sont absents de la plupart des maquettes au 1/18. Il s'agit d'essais comparatifs effectués sur une maquette permettant plusieurs combinaisons possibles, quant aux caractéristiques géométriques du système "cabine-remorque-défecteur".

2 - MAQUETTE

La figure 1 donne les dimensions de la maquette du camion remorque à l'échelle 1/18. Celle-ci a été construite de manière à pouvoir faire varier la hauteur de la remorque (H), l'espace cabine-remorque (Y), la longueur de la cabine (X), la longueur entre le point d'attache du déflecteur et le bord d'attaque de la cabine (a), la longueur du déflecteur (W) et l'angle du déflecteur (α). Le nombre d'essais possibles étant relativement grand, il a été possi-

ble de supprimer certains d'entre eux qui n'offraient pas de résultats significatifs. Voici quelques caractéristiques limites: la cabine peut varier (en X) de 7.62 cm (3") à 12.7 cm (5"), l'espace entre la cabine et la remorque (Y) peut varier de 2.54 cm (1") à 15.24 cm (6"); la hauteur de la remorque peut varier de 17.78 cm (7") à 22.86 cm (9") soit un écart possible de 5.08 cm (2"). La figure 2 donne les détails de la maquette réalisée, sur la figure 2a on peut remarquer les plaques amovibles permettant de faire varier le couple X-Y et la hauteur H; sur la figure 2b l'opérateur est en train de fixer le support du déflecteur à la position prévue par rapport au bord d'attaque de la cabine (distance "a").

3 - SOUFFLERIE - BALANCE AERODYNAMIQUE

C'est la soufflerie S1 du département de génie mécanique de l'Université de Sherbrooke qui a été utilisée pour ces essais. Pour ce faire elle est équipée d'un convergent de section carrée (121.92 cm (4')). La vitesse maximum atteinte est de 32 m/s (72 mph). La vitesse de l'écoulement durant les essais a été 31.55 ± 0.90 m/s (71 ± 2 mph). Il a été vérifié que dans cette zone le coefficient de traînée n'est pas affecté par le nombre de Reynolds.

La figure 3a montre le détail de l'installation. La maquette est placée sur un plateau solidaire d'une balance aérodynamique (figure 3b). La veine est libre et la vitesse est mesurée à

50.8 cm (20") de la cabine.

4 - ESSAIS

Trois configurations ont été essayées, quant à la variation du couple X-Y; la hauteur de la remorque était constante dans ce cas (6.35 cm = 2.5").

Configurations A	X = 10.16	Y = 8.89	X/Y = 1.143
B	X = 8.89	Y = 10.16	X/Y = 0.875
C	X = 8.255	Y = 10.795	X/Y = 0.765

Une première configuration avait été essayée dans les premiers essais; il s'agit de la configuration 0 décrite dans le paragraphe suivant.

Quatre hauteurs (H) de la remorque ont été essayées: 8.255 cm; 7.30 cm; 6.35 cm et 5.08 cm. Chronologiquement, ce sont les premiers essais qui ont eu lieu et les distances X et Y étaient sensiblement différentes de celles des configurations A, B et C; un bris ayant modifié les caractéristiques géométriques entre les deux séries d'essais (configuration 0: X = 10.16; Y = 7.62 soit X/Y = 1.33).

Trois longueurs de déflecteur ont été essayées: $W_1 = 2.94$ cm; $W_2 = 5.87$ cm et $W_3 = 8.57$ cm.

Un total de 19 angles de 0° à 90° (pas de 5°) ont été essayés; pour les configurations A, B, C les premiers angles 0° à 15° et

80° à 90° n'ont pas été testés, ils ne représentaient pas d'éléments importants dans le cadre de la détermination du minimum de traînée.

Pour chacune des configurations A, B et C, 3 ou 4 longueurs "a" ont été reproduites; le détail est donné dans le tableau qui suit:

	a ₁ (cm)	a ₂ (cm)	a ₃ (cm)	a ₄ (cm)
Configuration A	0	3.175	5.715	-
Configuration B	0	1.905	4.445	-
Configuration C	0	1.905	3.175	4.445

Pour la configuration 0, 7 configurations ont été essayées: (en cm) 0; 0.635; 1.905; 3.175; 4.445; 5.715; 7.493. Des visualisations par fumée ont ensuite été effectuées pour des cas caractéristiques relevés au cours des essais quantitatifs; pour cela l'émission de fumée est toujours située au même endroit de manière à pouvoir visualiser toujours la même ligne de courant et établir des comparaisons significatives. Les schémas donnés dans ce rapport constituent une représentation fidèle des photographies effectuées au cours des essais.

5 - RESULTATS

Les figures 4, 5 et 6 donnent respectivement pour les configurations A, B et C l'évolution du coefficient de traînée en fonction de l'angle de braquage des trois types de déflecteur. Dans les

trois cas il y a un déplacement de la position α^* (angle de braquage donnant le C_D minimum) vers les petits angles lorsque W augmente; en même temps (sauf pour la configuration C), il y a une diminution de C_D^* (C_D minimum). Cette constatation semble logique puisque lorsque W augmente, la ligne de courant a tendance à s'infléchir vers le haut et créer une augmentation de traînée, ainsi il faut diminuer l'angle α^* pour éviter la déviation de la ligne de courant; en même temps les lignes de courant voisines de la plaque déterminent un écoulement d'autant mieux guidé que la plaque est plus longue, donc une diminution de C_D^* lorsque W augmente; le cas de la configuration C ne s'applique pas à ce raisonnement; il semble que les lignes de courant soient plus ou moins aspirées par la dépression se trouvant derrière l'ensemble déflecteur-cabine et que ceci crée une traînée supplémentaire; d'autres essais seraient nécessaires pour confirmer cette hypothèse.

Les figures 7, 8, 9 donnent C_D versus α pour trois attaches possibles du déflecteur W_1 sur la cabine; dans les trois configurations A, B, C et pour une attache frontale ($a = 0$) l'évolution est identique aux configurations précédentes avec passage par un minimum clairement identifiable ($\alpha^* = 40^\circ$ (conf. A); $\alpha^* = 38^\circ$ (conf. B)) par contre dès que l'on s'éloigne de cette position l'évolution semble anachronique; on peut toutefois constater que α^* augmente avec "a". Ceci peut s'expliquer par le fait que dès que le déflecteur s'éloigne du front de la cabine la ligne de courant passant près de

celui-ci sera d'autant moins affectée par le déflecteur et contribue de moins en moins à l'organisation de l'écoulement au-dessus de la cabine (excepté pour la configuration C).

La figure 10 est identique aux figures 7, 8, 9 excepté qu'elles correspondent au déflecteur W_2 ; dans ce cas l'écoulement est beaucoup moins perturbé et on peut constater que α^* diminue avec "a", C_D^* diminue également avec "a"; on peut également remarquer par rapport aux figures précédentes que le coefficient de traînée est plus sensible à α pour W_2 que pour W_1 ainsi, α^* peut être déterminé avec plus de précision; les configurations A et C donnent le même type d'évolution.

Les trois figures suivantes 11, 12 et 13 montrent encore avec acuité qu'un grand déflecteur donne α^* très sensible à α ; on remarque en outre que α^* augmente avec "a" et que C_D^* varie très faiblement avec "a" pour différents rapports X/Y. Il est pratiquement évident pour ces figures que du fait du pas important entre chaque α , il y a de gros risques pour que le C_D^* ne soit pas atteint dans chacun des cas étudiés; ainsi le C_D^* obtenu risque dans beaucoup de cas d'être inférieur aux valeurs obtenues par les courbes. Pour ces figures on peut constater que le rapport X/Y n'est pas un facteur important dans le comportement du déflecteur, de même que la position de celui-ci par rapport au front de la cabine; ainsi compte tenu des différents types de remorque et des différents cas X/Y rencontrés dans la réalité (qui varient suivant l'emplacement de la charge à l'intérieur de la re-

morque), il apparaît qu'un grand déflecteur soit plus avantageux à condition que sa position angulaire soit correctement établie; l'angle α^* est petit (environ 30°) et aura moins tendance à vibrer; l'installation sera plus simple et n'exigera pas de grosses armatures. Le tableau suivant donne l'ensemble des C_D^* obtenus dans tous les cas étudiés avec les configurations A, B et C; la plupart des constatations effectuées précédemment sont alors quantifiées.

Conf. A		a = 0		a = 3.175 cm		a = 5.715 cm			
		$\frac{X}{Y} : 1.143$	W ₂	$C_D=0.935$	$\alpha=30^\circ$	W ₂	$C_D=0.912$	$\alpha=35^\circ$	W ₂
	W ₃	$C_D=0.910$	$\alpha=25^\circ$	W ₃	$C_D=0.910$	$\alpha=25^\circ$	W ₃	$C_D=0.926$	$\alpha=30^\circ$

Conf. B		a = 0		a = 1.905 cm		a = 4.445 cm			
		$\frac{X}{Y} : 0.875$	W ₂	$C_D=0.923$	$\alpha=35^\circ$	W ₂	$C_D=0.915$	$\alpha=35^\circ$	W ₂
	W ₃	$C_D=0.905$	$\alpha=25^\circ$	W ₃	$C_D=0.920$	$\alpha=25^\circ$	W ₃	$C_D=0.903$	$\alpha=30^\circ$

Note: Les valeurs de a et H sur les figures 7-20 se réfèrent au véhicule de dimensions réelles; elles sont obtenues en multipliant celles du tableau de la page 6 par 18 (échelle de la maquette).

Conf. C	a = 0		a = 1.905 cm	
	$\frac{X}{Y} : 0.765$	W ₂	C _D =0.898 α=30°	W ₂
	W ₃	C _D =0.913 α=25°	W ₃	C _D =0.908 α=30°

a = 3.175 cm		a = 4.445 cm	
W ₂	C _D =0.915 α=40°	W ₂	C _D =0.927 α=45°
W ₃	C _D =0.915 α=30°	W ₃	C _D =0.925 α=30°

La figure 14 donne l'évolution de C_D en fonction de la hauteur de la remorque pour la configuration 0; on peut constater de manière évidente que l'augmentation de la hauteur diminue le coefficient de traînée.

Les figures 15 à 20 donnent le schéma de la ligne de courant visualisée par fumée et qui arrive au niveau du pare-brise de la cabine; sur ces mêmes figures sont données toutes les caractéristiques des cas étudiés y compris le coefficient de traînée. Les figures 15 et 16 montrent l'effet du braquage de 20° à 80° sur la courbure de la ligne de courant et la correspondante au niveau de C_D . Le choix de la ligne de courant a été effectué de telle façon que le C_D minimum (C_D^*) soit atteint lorsque cette même ligne de courant passe légèrement au-dessus de la partie frontale de la remorque. On peut voir avec W₂ que pour $\alpha = 35^\circ$ (fig. 15) et $\alpha = 40^\circ$ (fig. 16) le C_D^* est atteint; pour les angles supérieurs la ligne de courant

est trop déviée vers le haut et C_D augmente et pour les angles inférieurs, la ligne de courant "bloque" encore sur la remorque et produit ainsi un tourbillon générateur de traînée.

La figure 17 donne les mauvais cas (conf. A) et on peut voir que le schéma donne de nombreux tourbillons qui augmentent la traînée.

Sur les trois figures suivantes (18, 19 et 20) sont données les positions correspondantes aux cas pour lesquelles C_D^* est atteint et ceci pour les trois configurations et les trois déflecteurs; excepté pour W_1 la ligne de courant n'est pas "cassée" par des tourbillons et sa forme dépend essentiellement de l'agencement du déflecteur ("a", α et W), mais dans tous les cas (sauf W_1) la ligne de courant visualisée par la fumée passe légèrement au-dessus de la remorque et n'est pas affectée par celle-ci.

6 - CONCLUSIONS

Les points importants de cette étude peuvent être résumés ainsi:

- a) • diminution de la traînée lorsque:
 - (i) la hauteur de la remorque augmente
 - (ii) "a" diminue (conf. C); tendance moins marquée pour la
 - (iii) configuration A (influence de X/Y); pour H grand il y a diminution de la traînée lorsque "a" augmente (conf.0)
 - (iv) avec W_3 , X/Y augmente

(v) W augmente

pour W_2, W_3 (conf. A, B et C) α^* augmente lorsque "a" augmente

b) • la détermination de α^* est plus fine lorsque W augmente

D'un point de vue pratique il semble préférable de choisir un grand déflecteur calé à un petit angle, il donnera en effet une traînée plus faible et laissera beaucoup de liberté quant au facteur X/Y .

NOTATIONS

- H : hauteur de la remorque par rapport à la cabine
- Y : longueur de l'espace cabine-remorque
- X : longueur de la cabine
- a : largeur entre le point d'attache du déflecteur et le bord d'attaque de la cabine
- W : longueur du déflecteur (trois types W_1 , W_2 et W_3)
- α : braquage du déflecteur
- C_D : coefficient de traînée
- α^* : braquage minimum correspondant au coefficient de traînée minimum
- C_D^* : coefficient de traînée minimum.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] K.R. Cooper,
"A wind tunnel investigations into the fuel savings available from the aerodynamic drag reduction of trucks". NAE - NRC - Ottawa, Oct. 76.
- [2] K.R. Cooper,
"L'efficacité d'un déflecteur aérodynamique".
Transport commercial, pp. 28-50, mars/avril 77.
- [3] K.R. Cooper,
"Wind tunnel investigations of eight commercially available devices for the reduction of the aerodynamic drag on trucks". NAE - NRC - Ottawa, 1976.
- [4] K.R. Cooper,
"Fuel savings through aerodynamic drag reduction".
NAE - NRC - Ottawa, 1978.
- [5] K.R. Cooper - B. Holmes,
"Wind tunnel tests show truckers care save fuel by using air deflectors", Motor Truck, pp. 20-29, Sept. 1976.
- [6] P. Schenck,
"Use of a cab roof-mounted deflector should lead to a 5-15% fuel saving". Motor Truck, Pp. 36-41, Nov. 1975.
- [7] F.T. Buckley, Jr. - W.S. Sekscienski,
"Comparisons of Effectiveness of Commercially Available Devices for the Reduction of Aerodynamic Drag on Tractor-Trailers". Society of automotive engineers No 750704.
- [8] N.C. Wiley, Jr.,
"A simple explanation of yaw angle and aerodynamics drag", Motor Truck, pp. 29-30, Sept. 1976.
- [9] D.S. Gross - W.S. Sekscienski,
Some Problems Concerning Wind Tunnel Testing of Automotive Vehicles, Society of automotive engineers, No 660385.
- [10] F.N. Beauvais - S.C. Tignor - T.R. Turner,
"Problems of Ground Simulation in Automotive Vehicles"
Society of automotive engineers, No 680121.
- [11] Draft SAE Practice for the Wind Tunnel Testing of Trucks and Buses.

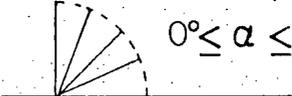
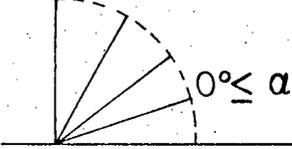
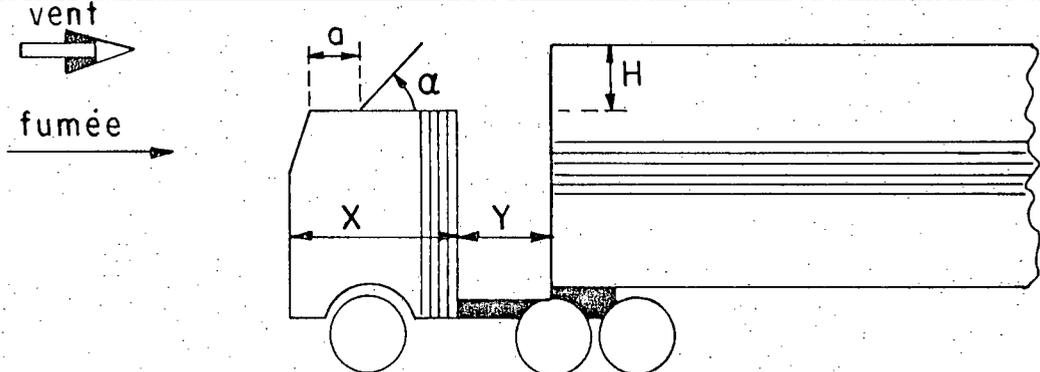
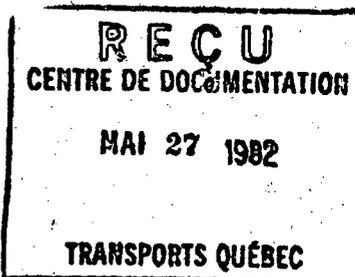
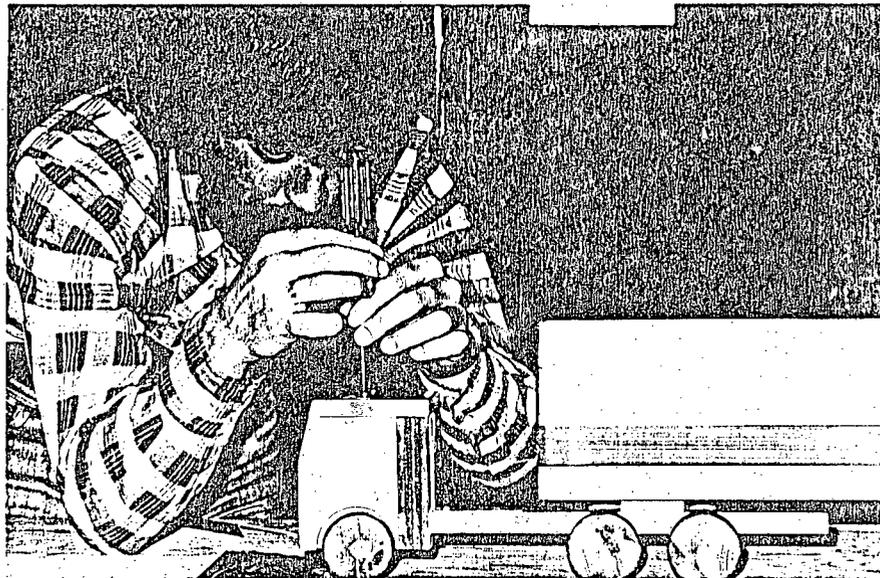
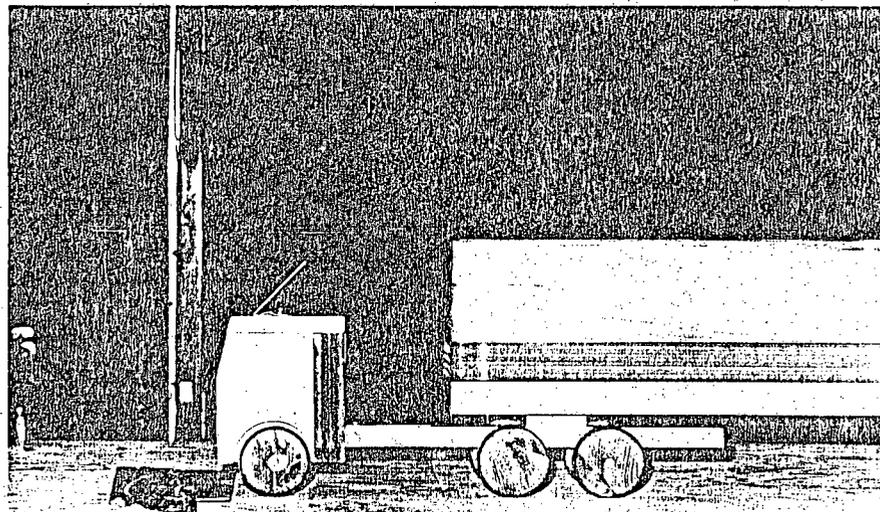
<p style="text-align: center;">W_1 (2.94)</p> <p style="text-align: center;">$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$</p> 	<p style="text-align: center;">CONFIGURATION A</p> <p>X : 10.16</p> <p>Y : 8.89 $\frac{X}{Y} = 1.143$</p> <p>H : 6.35</p>
<p style="text-align: center;">W_2 (5.87)</p> <p style="text-align: center;">$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$</p> 	<p style="text-align: center;">CONFIGURATION B</p> <p>X : 8.89</p> <p>Y : 10.16 $\frac{X}{Y} = 0.875$</p> <p>H : 6.35</p>
<p style="text-align: center;">W_3 (8.57)</p> <p style="text-align: center;">$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$</p> 	<p style="text-align: center;">CONFIGURATION C</p> <p>X : 8.255</p> <p>Y : 10.795 $\frac{X}{Y} = 0.765$</p> <p>H : 6.35</p>
	

FIG : 1 - MAQUETTE (les valeurs des dimensions X, Y, H et W sont en cm)



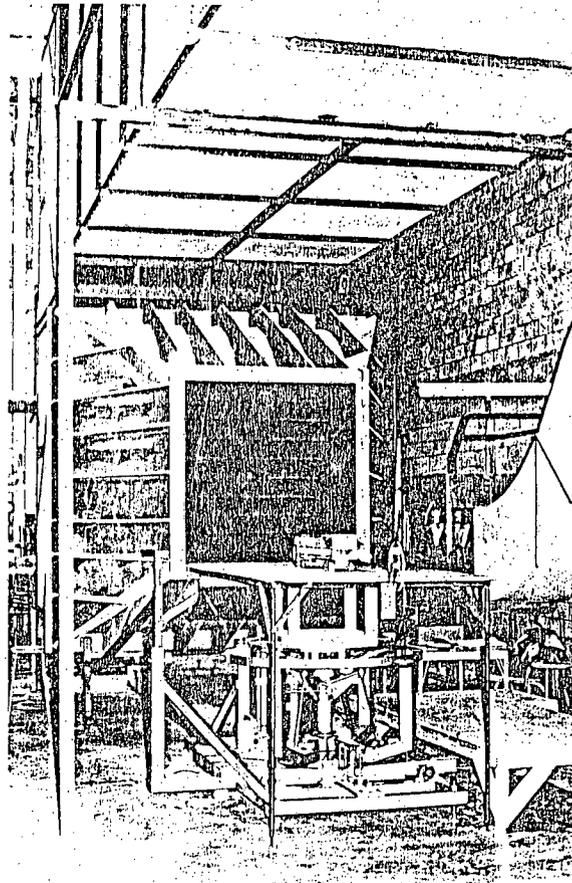


2a - plaques amovibles

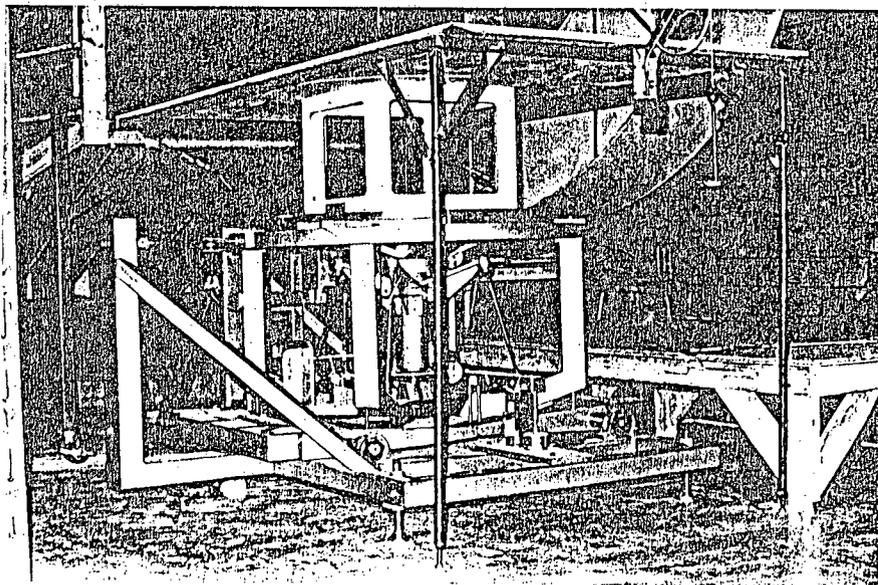


2b - support du déflecteur

Figure 2 - Détails de la maquette

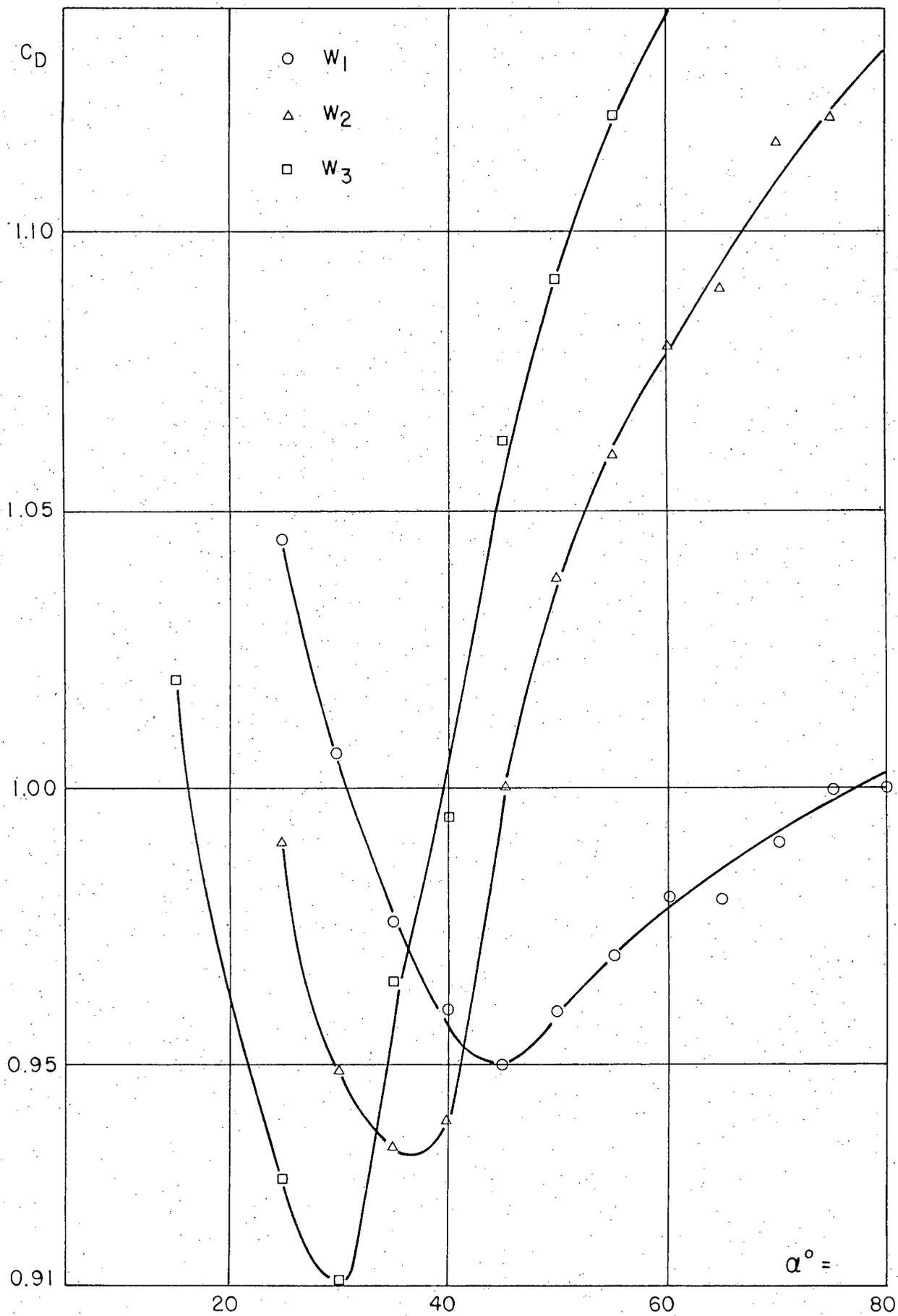


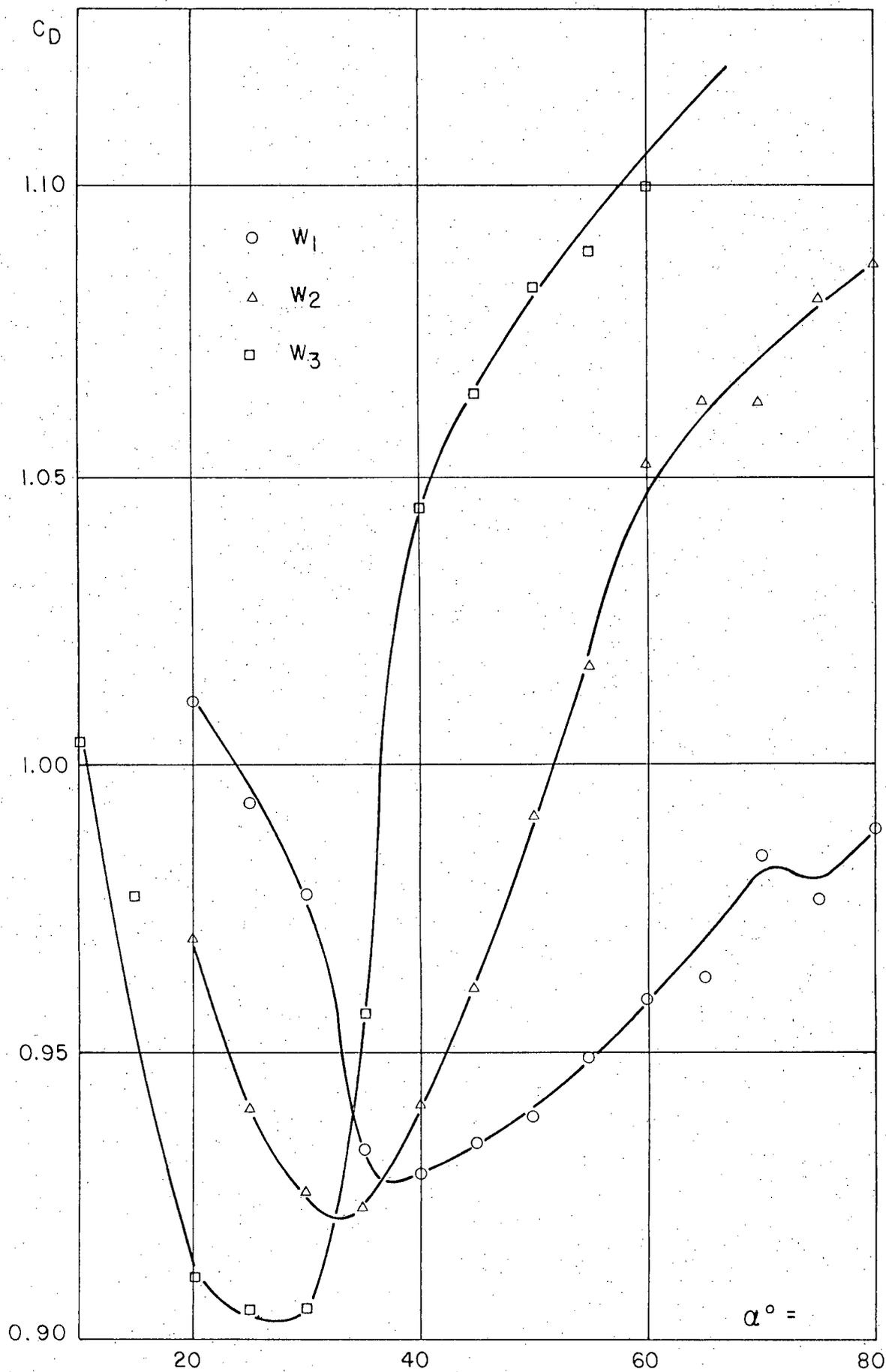
3a - Convergent et balance

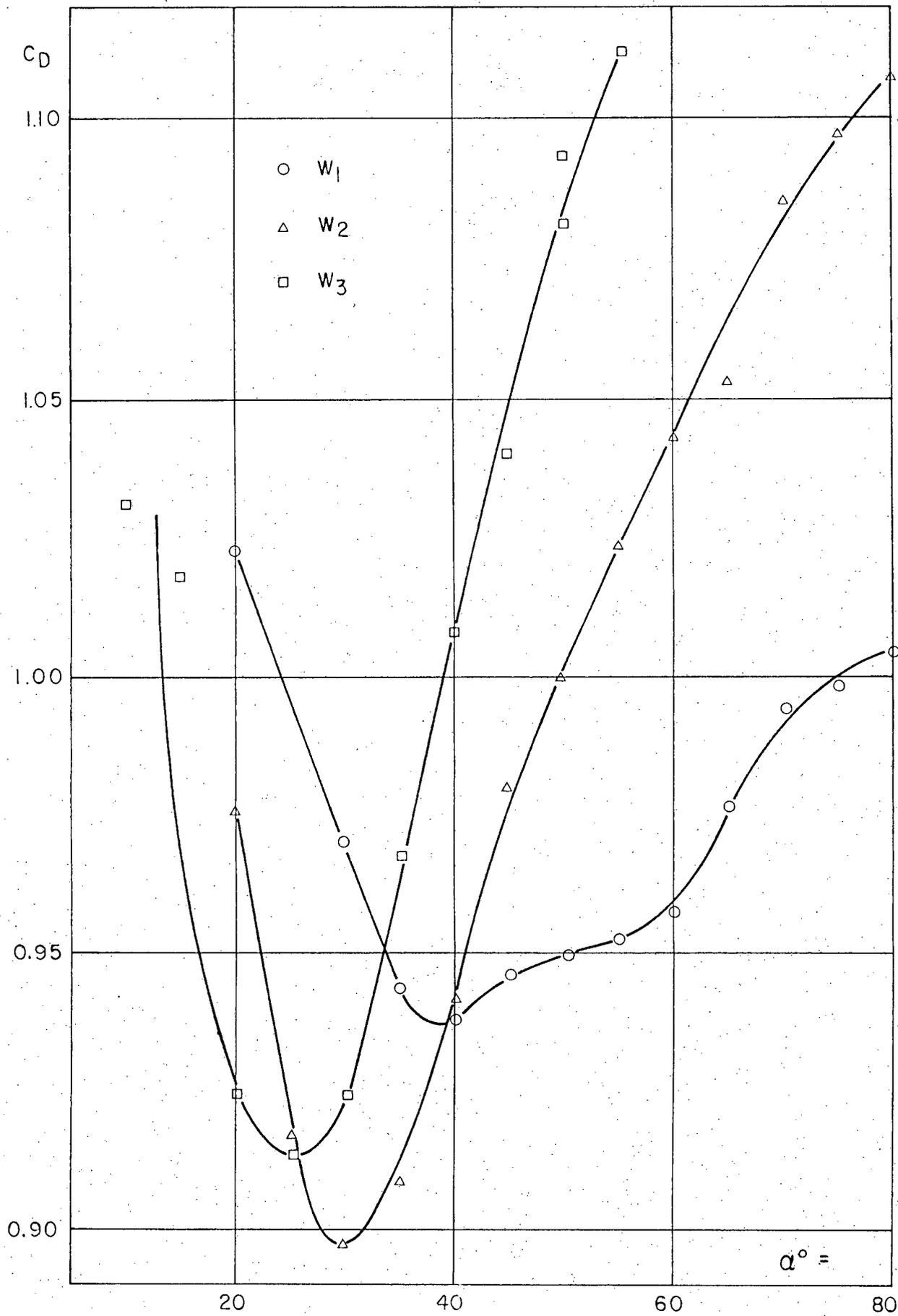


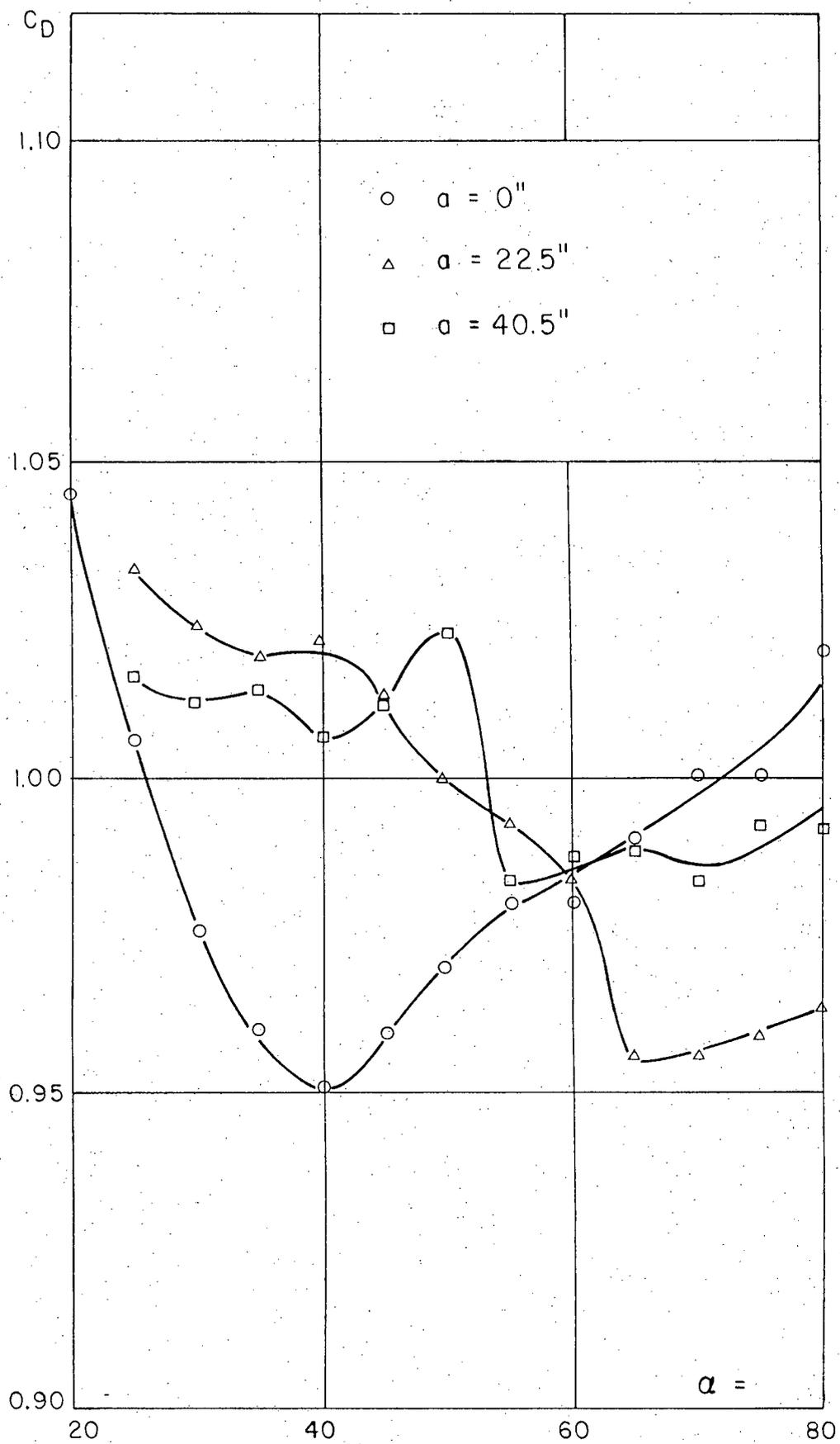
3b - Balance

Figure 3 - Installations

FIG. 4 - CONFIGURATION A ($\alpha = 0$)

FIG. 5 _CONFIGURATION B ($\alpha = 0$)

FIG. 6 _ CONFIGURATION C ($a = 0$)

FIG. 7 - CONFIGURATION A (W_1)

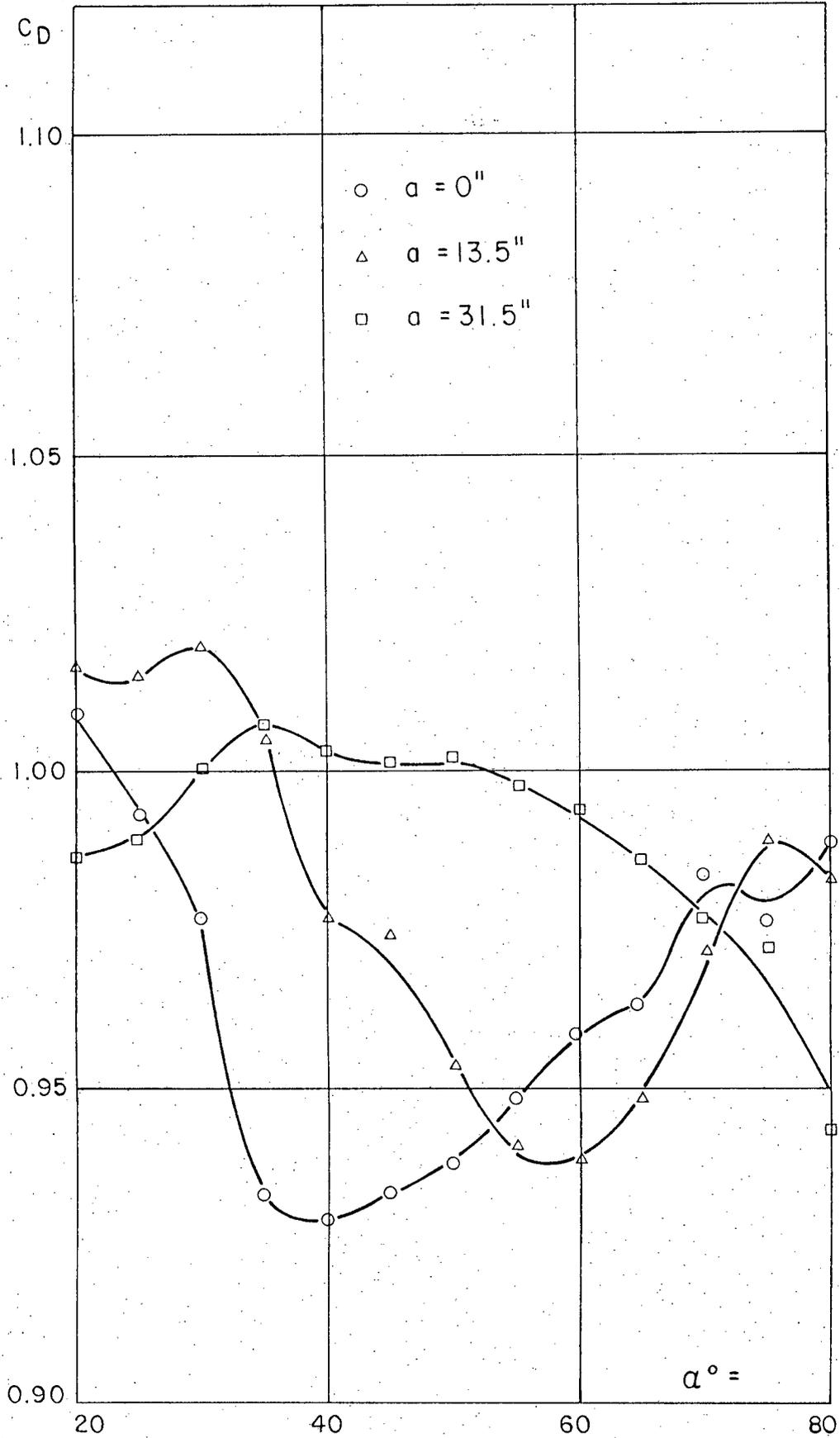


FIG. 8 - CONFIGURATION B (W_1)

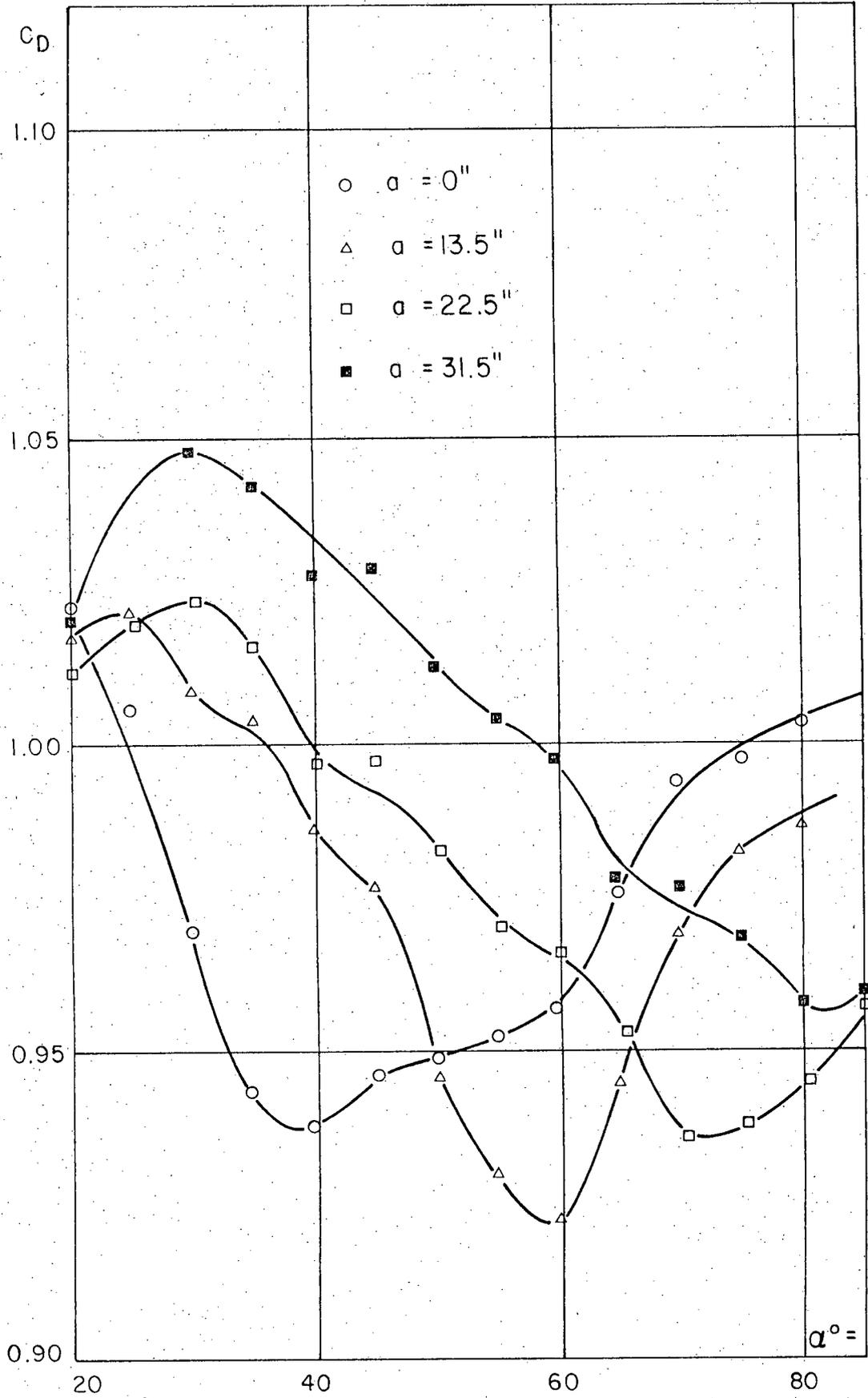
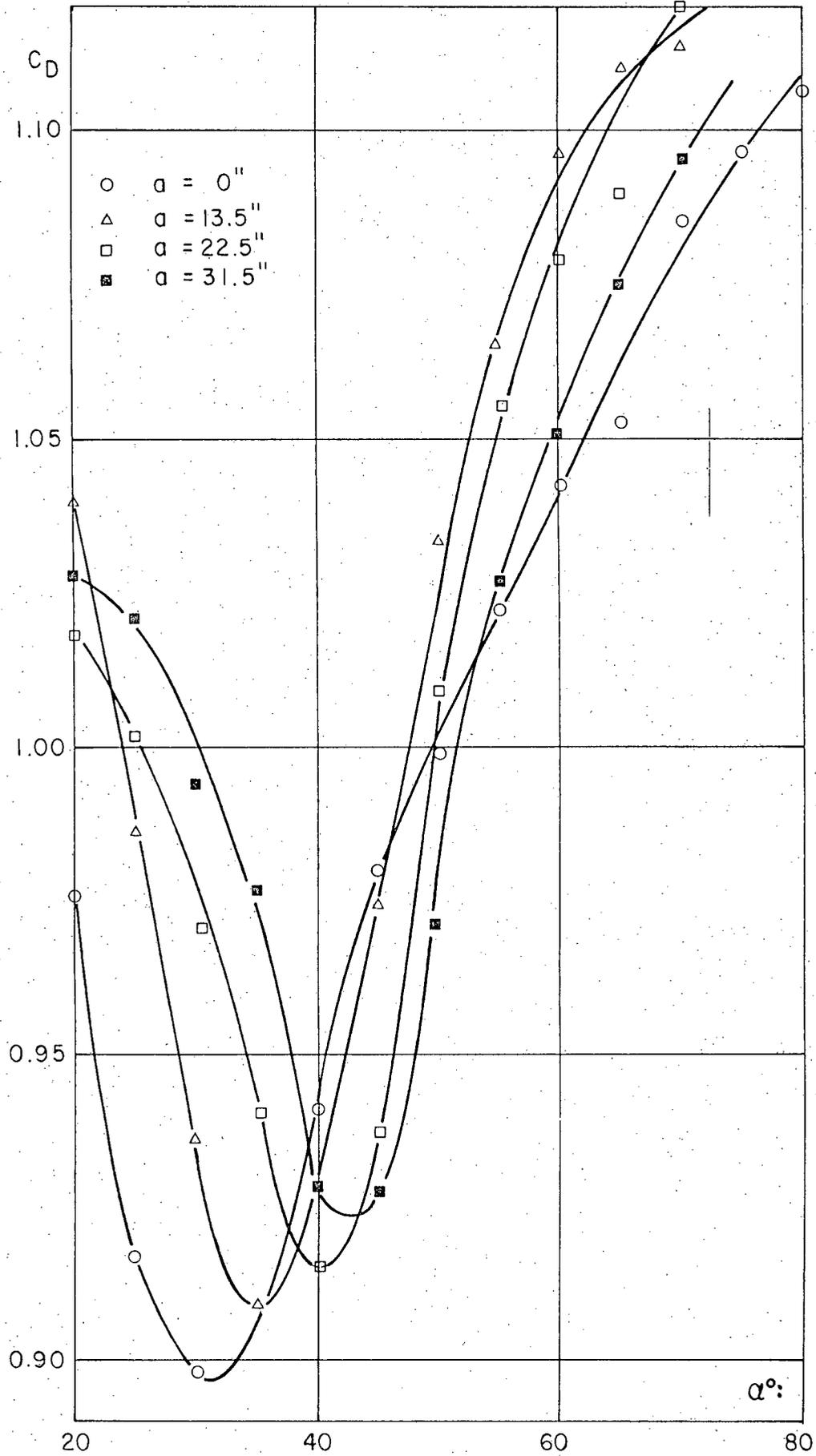


FIG. 9 - CONFIGURATION C (W_1)

FIG. 10 _ CONFIGURATION C(W₂)

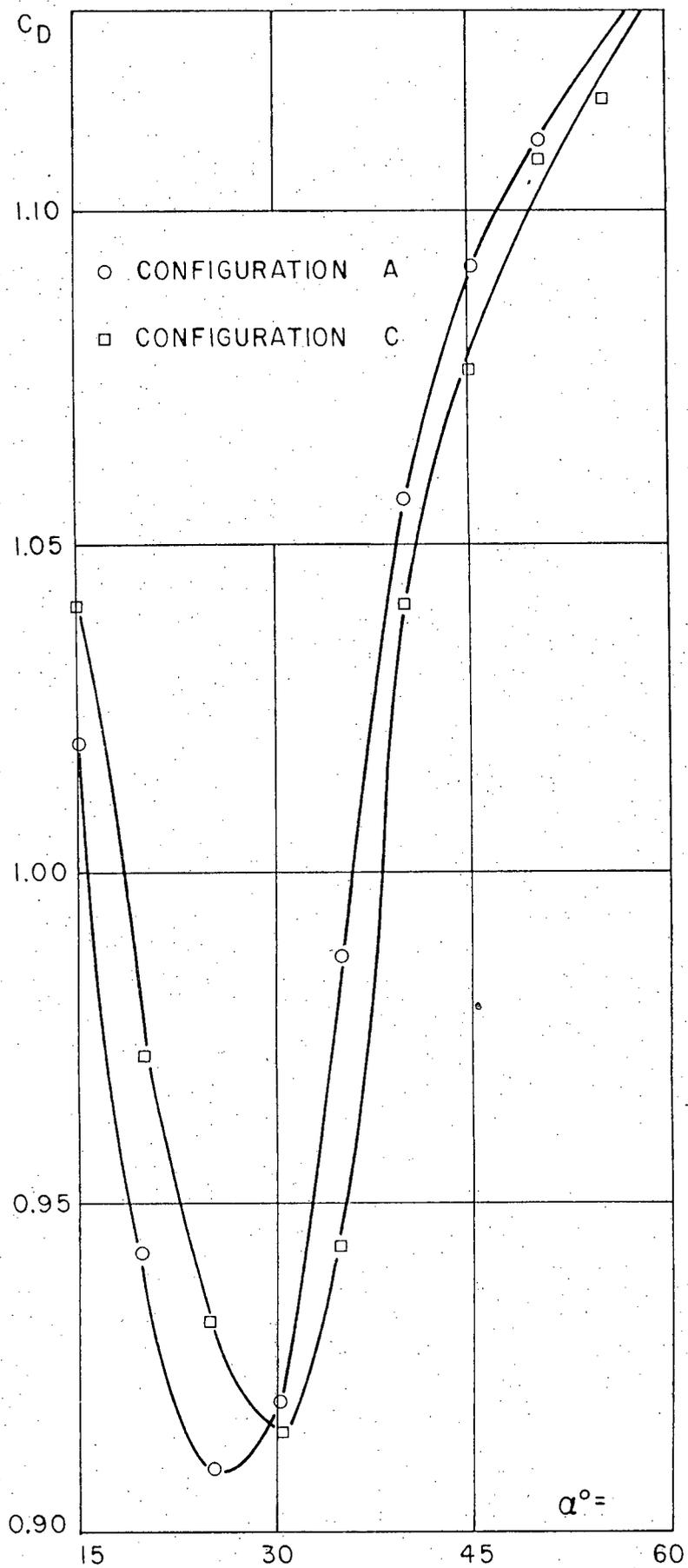


FIG. 11 CONFIGURATIONS AC($\alpha = 22.5^\circ$) W_3

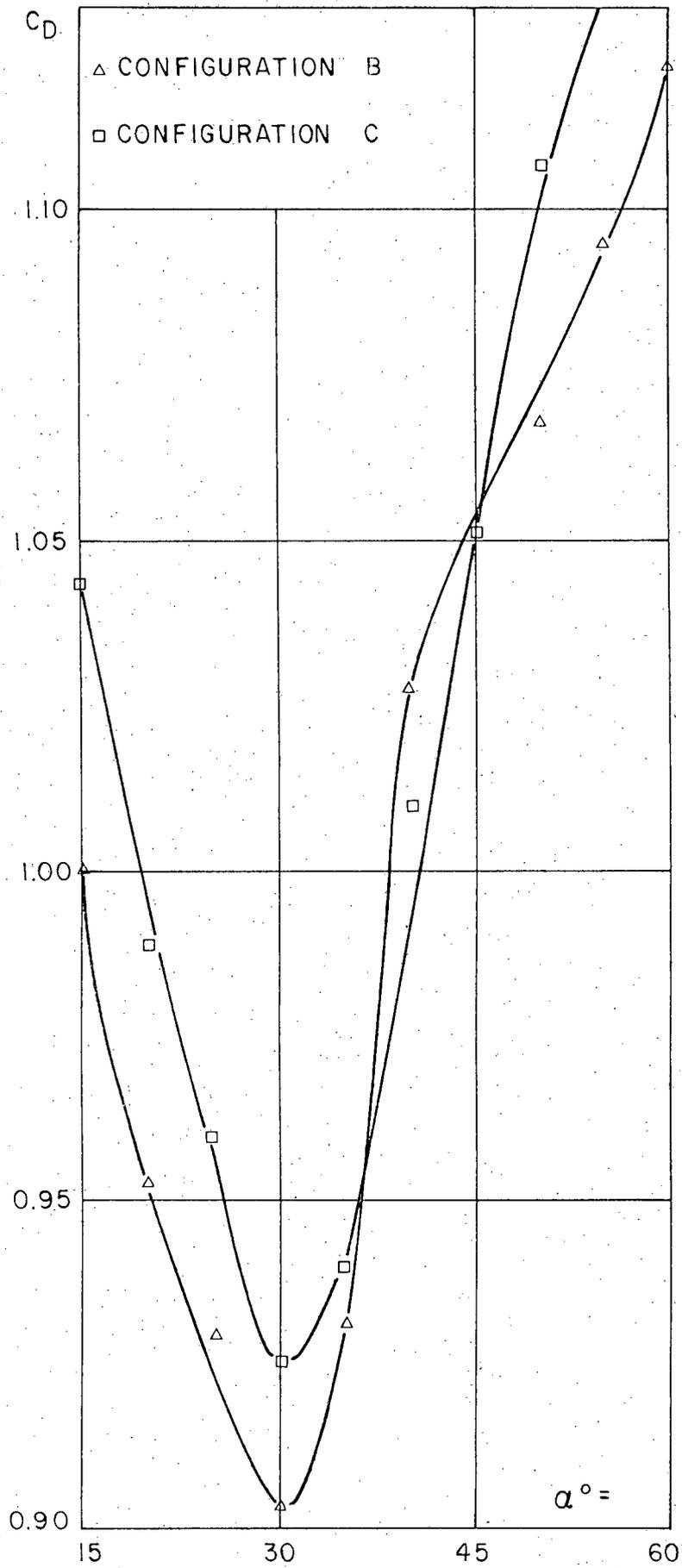


FIG. 12. CONFIGURATIONS BC ($\alpha = 31.5''$) W_3

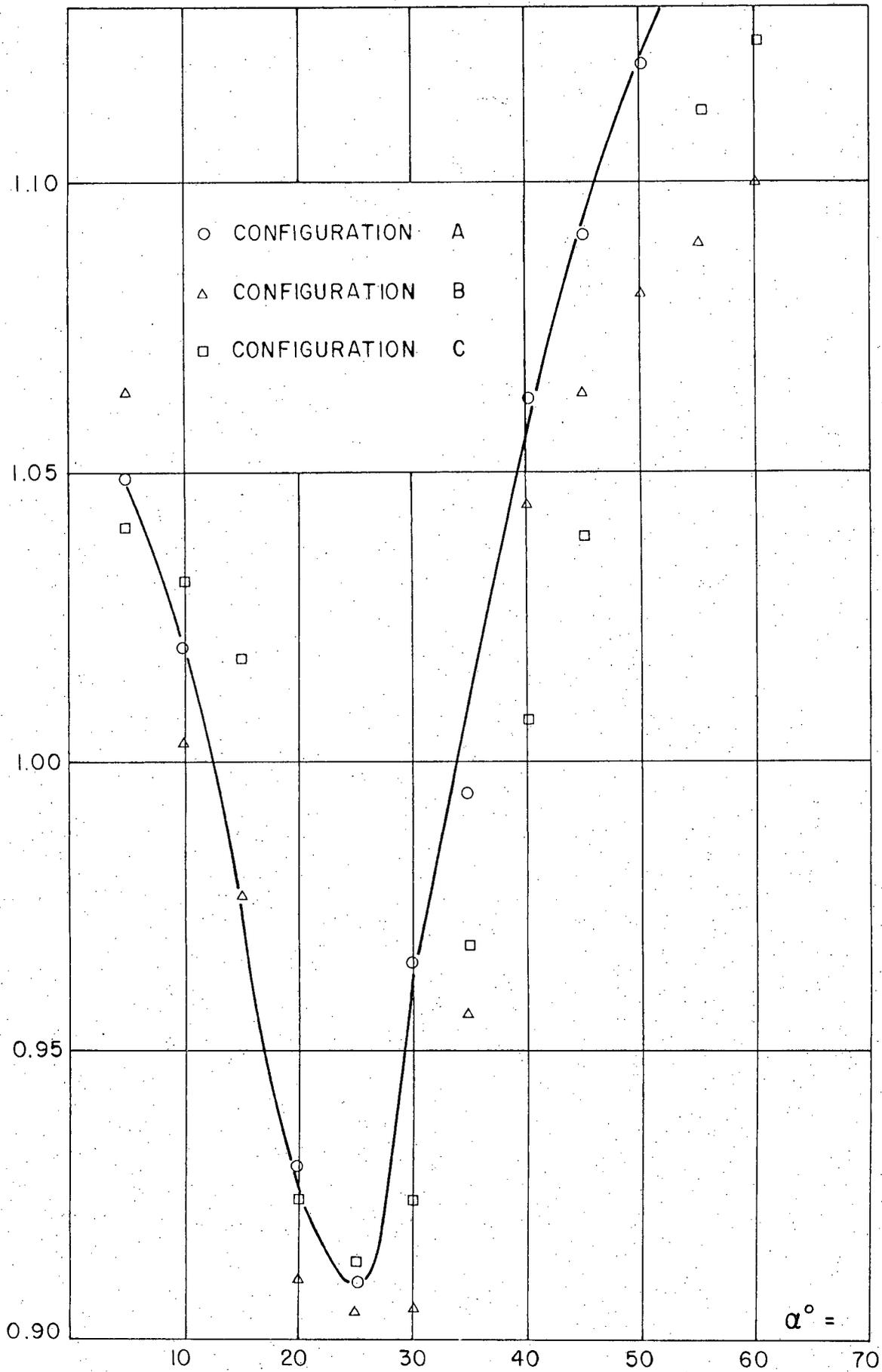


FIG. 13 - CONFIGURATIONS A B C ($\alpha = 0$) W_3

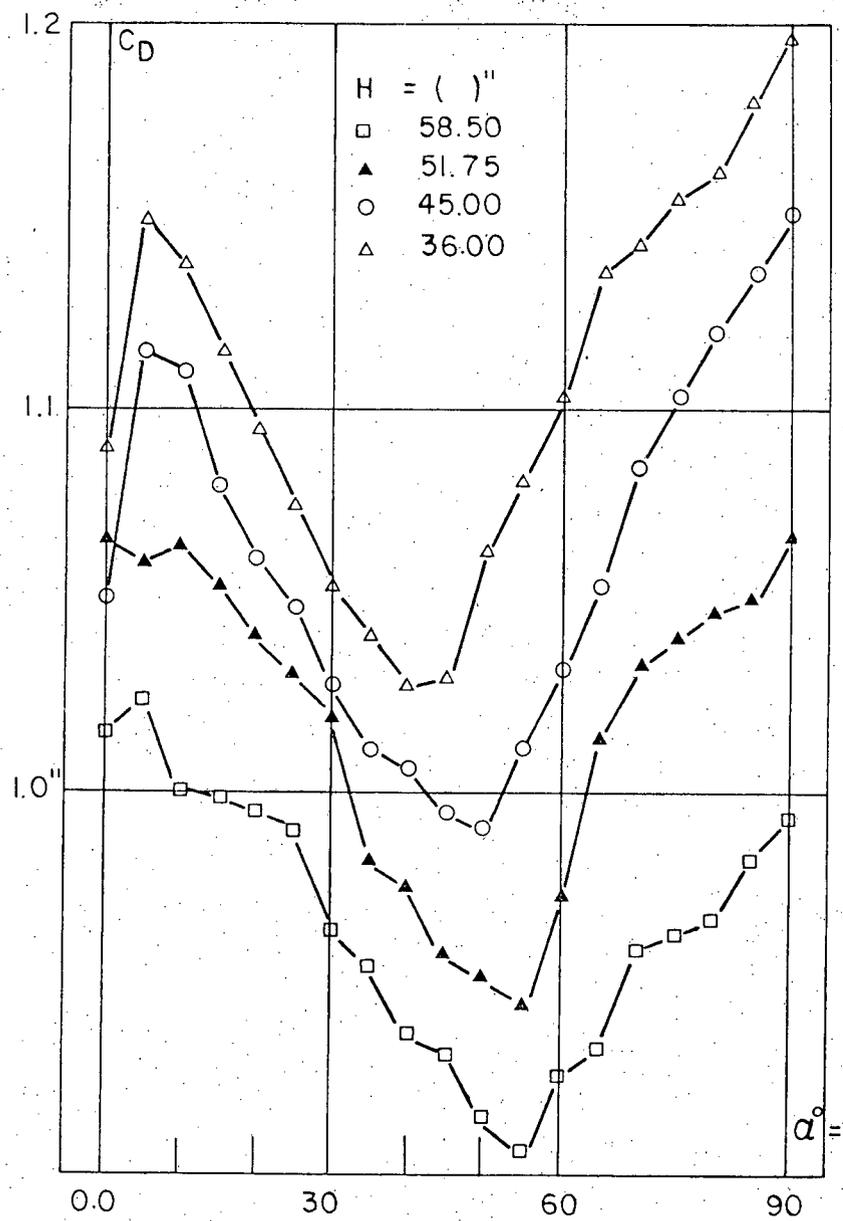


FIG. 14 - EVOLUTION EN FONCTION DE LA HAUTEUR DE LA REMORQUE ($\alpha = 53.1^\circ$)

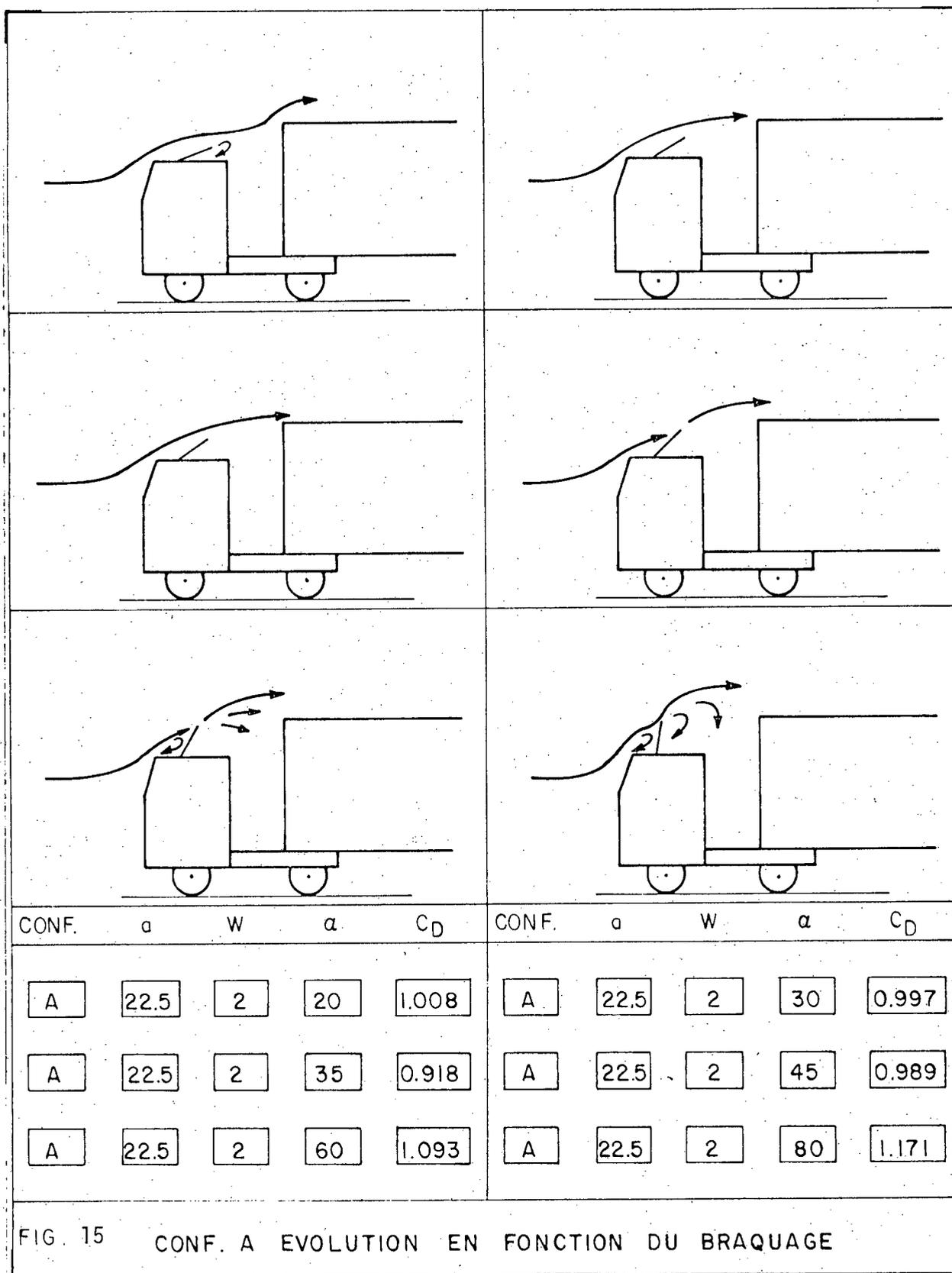


FIG. 15 CONF. A EVOLUTION EN FONCTION DU BRAQUAGE

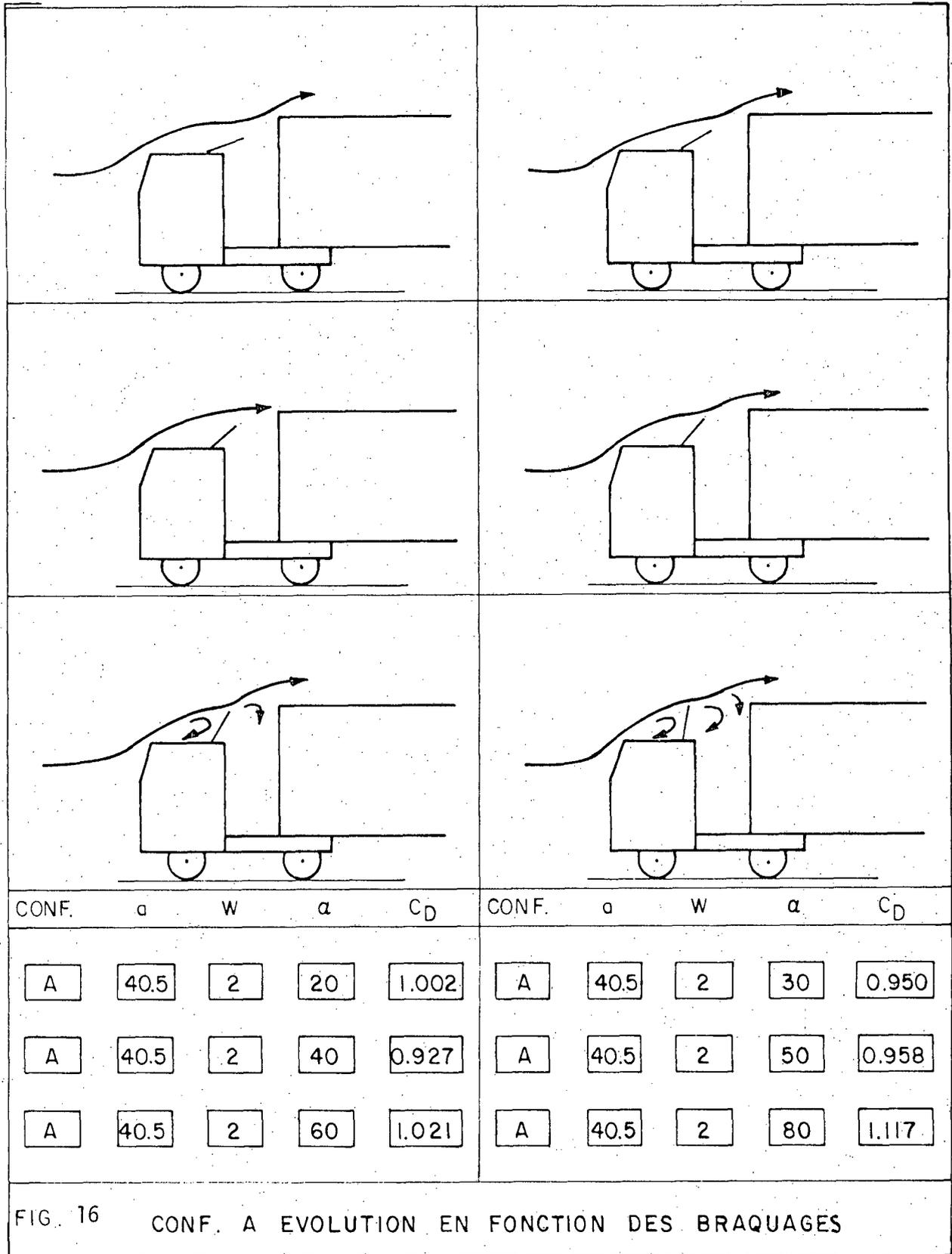


FIG. 16 CONF. A EVOLUTION EN FONCTION DES BRAQUAGES

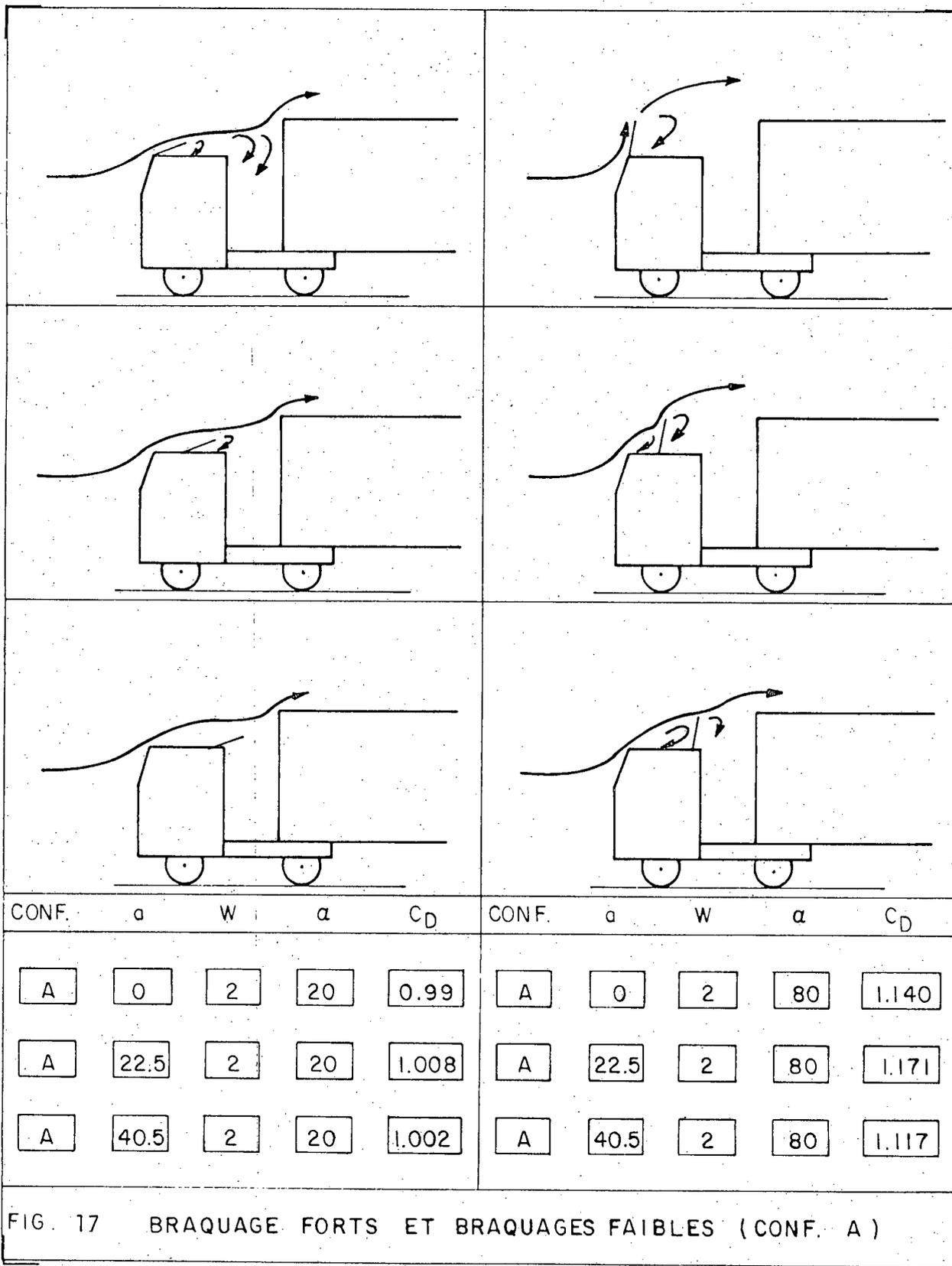
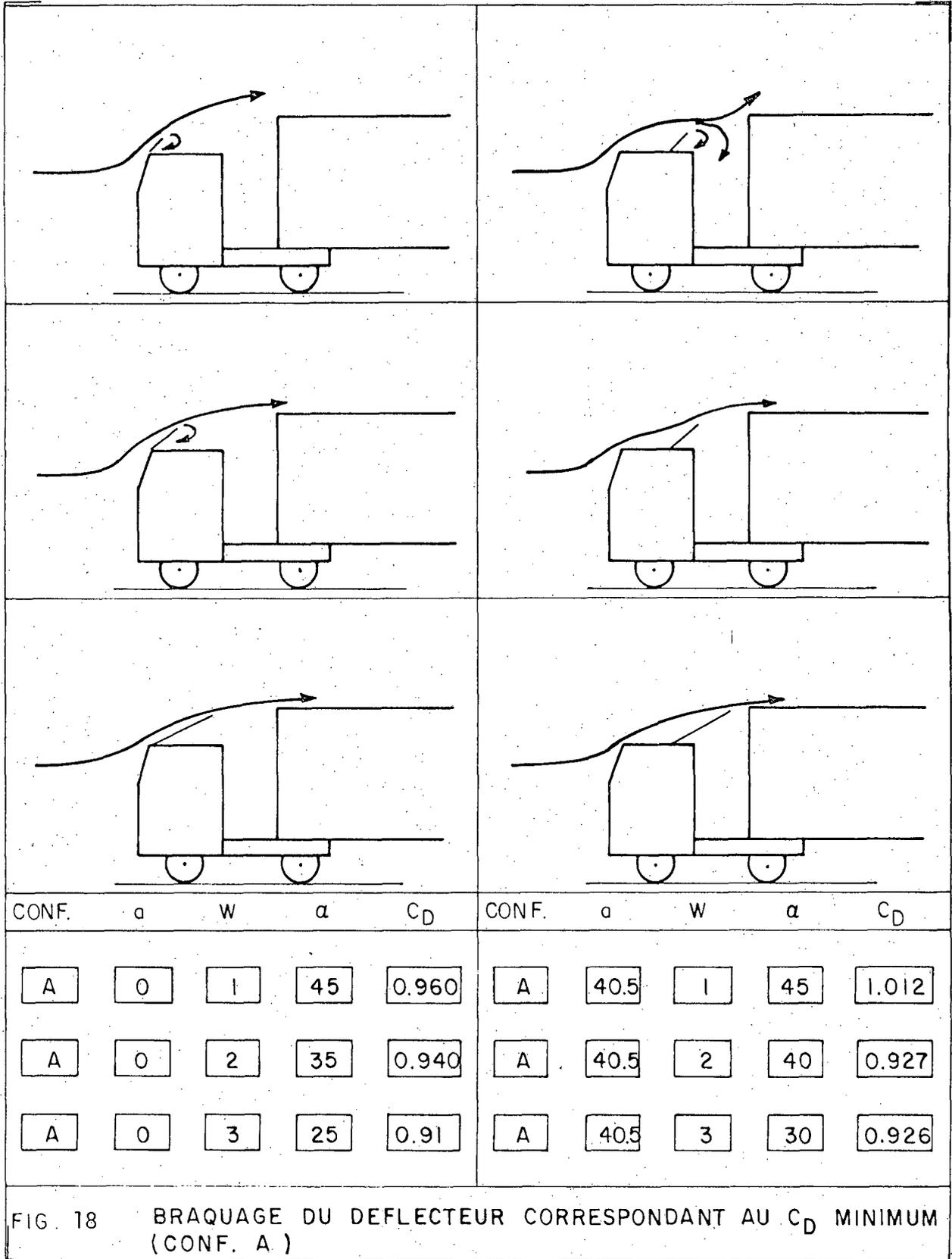


FIG. 17 BRAQUAGE FORTS ET BRAQUAGES FAIBLES (CONF. A)



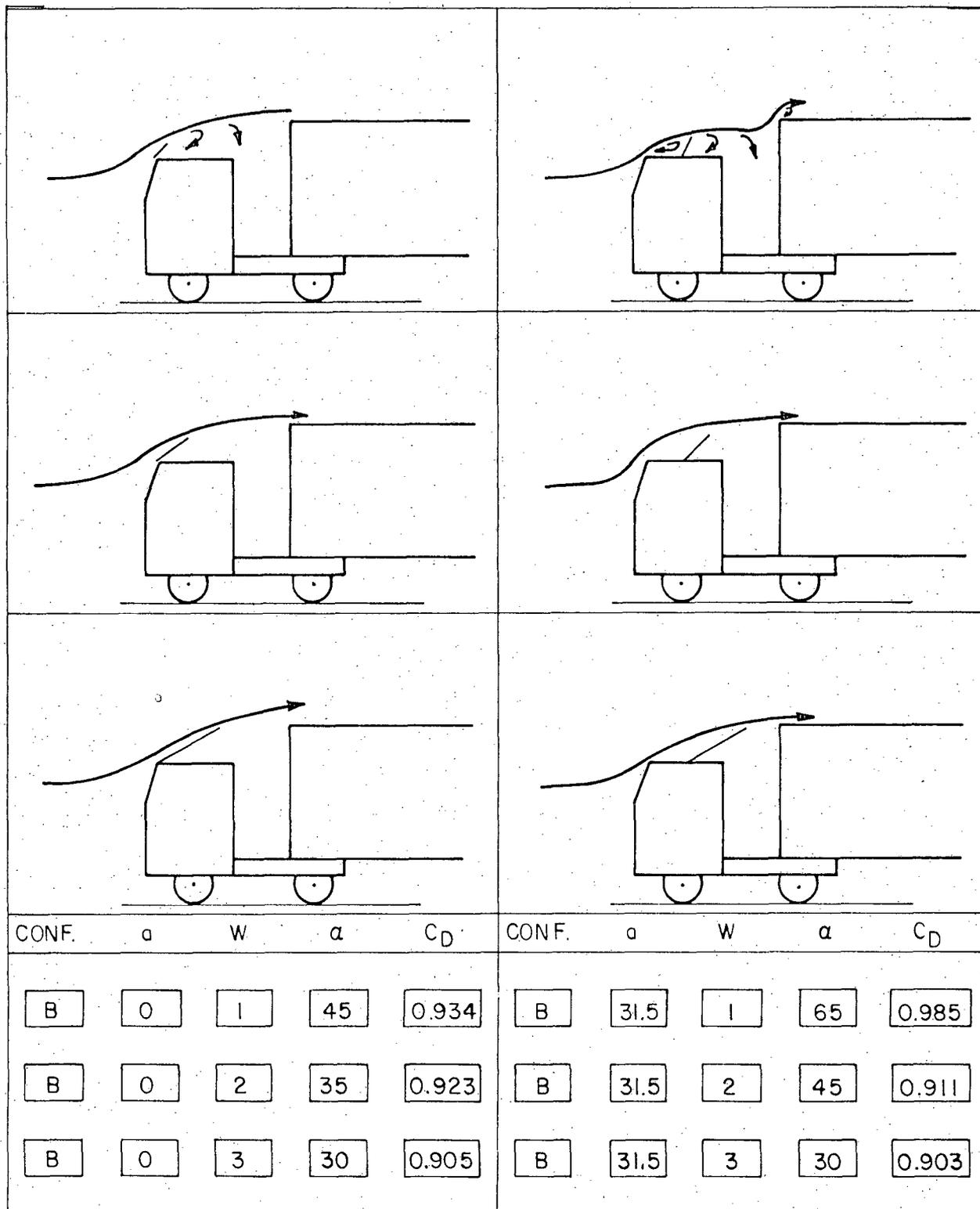
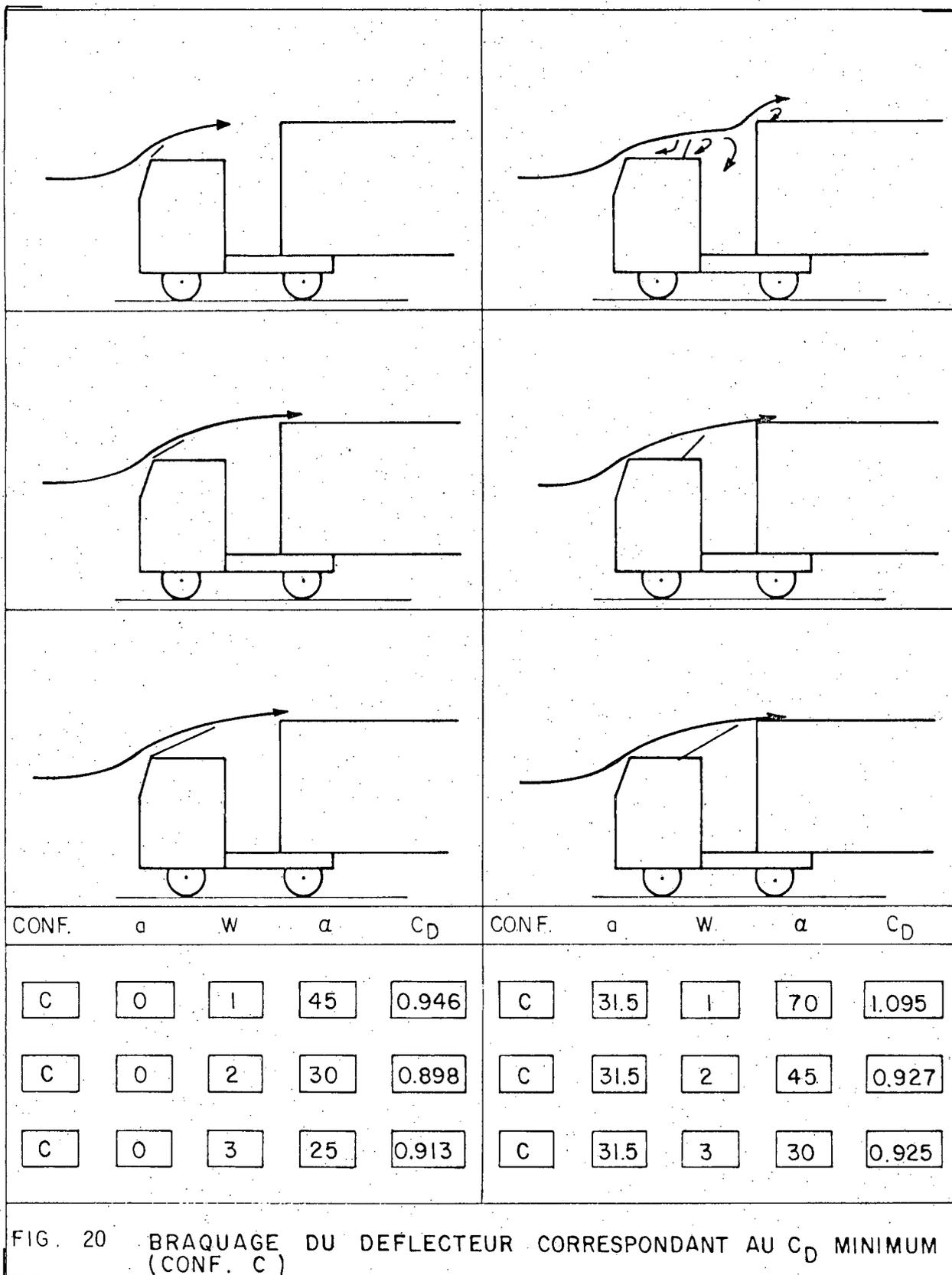


FIG. 19 BRAQUAGE DU DEFLECTEUR CORRESPONDANT AU C_D MINIMUM (CONF. B)



MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 114 889