

## Étape 2 : SÉLECTIONNER LES PARAMÈTRES, FIXER LEURS MODALITÉS ET SÉLECTIONNER LEURS INTERACTIONS

L'automobiliste et sa famille ont établi une liste des paramètres susceptibles d'agir sur la consommation d'essence du véhicule.

Ces paramètres sont structurés par famille et par lien de chaînage sur un diagramme causes-effet

La famille décide de :

- Fixer dans la mesure du possible les paramètres véhicule, conducteur, parcours (même circuit, même jour et même horaire) et conditions climatiques tant par commodités que pour s'assurer de la faible dispersion de la réponse.
- Ne choisir que des paramètres sur lesquels l'automobiliste peut intervenir directement.

La famille a donc retenu les paramètres suivants :

- les bougies
- les pneus
- le chargement
- le mode de conduite.

les paramètres qui vont varier à 2 niveaux (modalités) pendant les essais

Pour chacun des paramètres retenus, les modalités choisies sont présentées en figure 2 :

Paramètres	Modalité 1	Modalité 2
les bougies	type B1	type B2
les pneus	type P1	type P2
le chargement	sur la galerie	en remorque
le mode de conduite	sportive	calme

Tous les paramètres ont des modalités qualitatives

Présentation des modalités - Figure 2

La famille souhaite de plus étudier les interactions suivantes :

- mode de conduite \* bougies.
- mode de conduite \* chargement.

donc 4 paramètres et 2 interactions

# Étape 3 : CONSTRUIRE LE PLAN

On entre dans une phase plus technique qui permet de concevoir le plan d'expériences. Certaines règles sont à respecter pour choisir la table et affecter les paramètres aux colonnes.

- la table doit être orthogonale
- ddl modèle = Moy Générale + A + B + C + D + AB + AD = 7 ddl + 1 + 1 + 1 + 1 + 1x1 + 1x1

## A. - LE CHOIX DU PLAN :

A partir du nombre de paramètres, de modalités par paramètre et d'interactions retenus, on choisit parmi les tables standard celle dont le nombre de colonnes peut contenir tous les paramètres et les interactions.

La table la mieux adaptée au problème à résoudre est une table dite **L<sub>8</sub>** (présentée en figure 3) permettant de combiner au plus 7 paramètres à 2 modalités en 8 essais.

COLONNES ->

		paramètre A	paramètre B	paramètre C	paramètre D	paramètre E	paramètre F	paramètre G
		1	2	3	4	5	6	7
Table théorique de départ. (A adaptée selon le graphe linéaire)	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	2	2	2	2	2
	3	1	2	2	1	1	2	2
	4	1	2	2	2	2	1	1
	5	2	1	2	1	2	1	2
	6	2	1	2	2	1	2	1
	7	2	2	1	1	2	2	1
	8	2	2	1	2	1	1	2

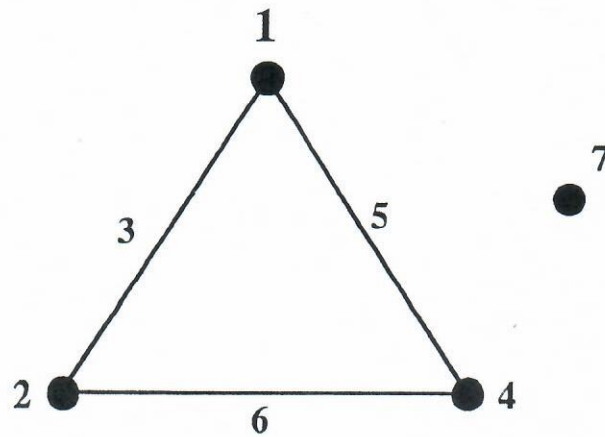
Table L<sub>8</sub> - Figure 3

L'essai n°2 consiste à fixer les paramètres A, B et C dans leur modalité 1, les paramètres D, E, F et G dans leur modalité 2, et à mesurer la réponse.

Au lieu de réaliser l'ensemble des combinaisons possibles des paramètres, c'est-à-dire  $2^7 = 128$ , il n'en sera réalisé que 8.

## B - L'AFFECTATION DES PARAMÈTRES AUX COLONNES

Associé à la table Lg, le **graphe linéaire** (figure 4) permet d'affecter les paramètres aux colonnes en fonction des interactions à étudier.

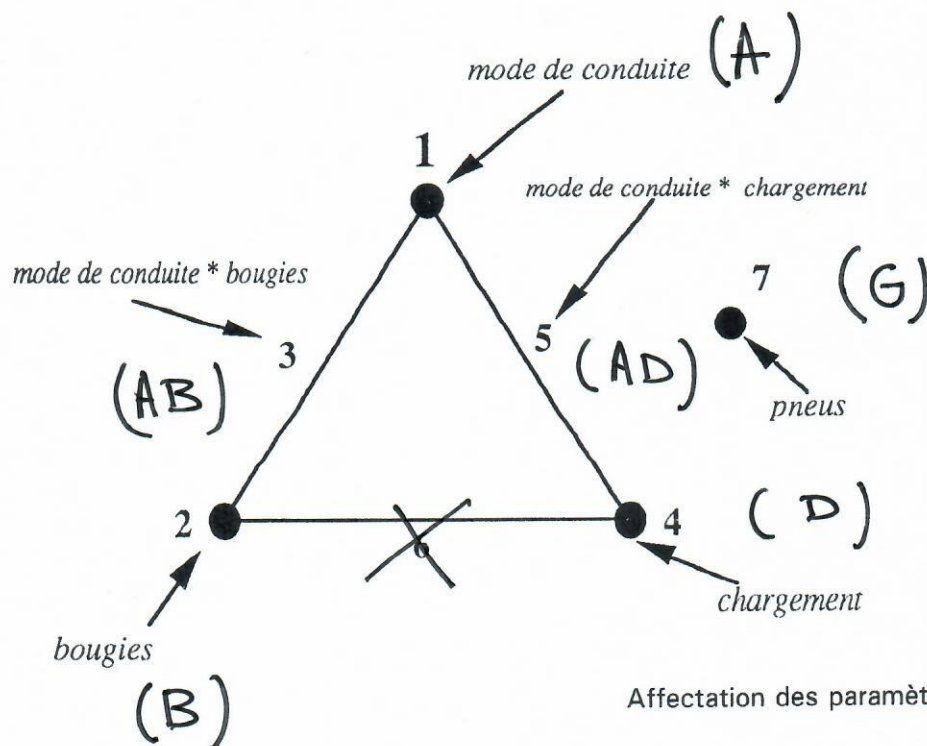


Graphe linéaire - Figure 4

Un point symbolise un paramètre.

Un trait joignant deux points symbolise une interaction entre ces deux paramètres.

Ainsi dans notre cas, si nous plaçons les paramètres *mode de conduite* et *bougies* respectivement en colonnes 1 et 2, l'interaction entre ces 2 paramètres sera contenue dans la colonne 3.



Affectation des paramètres - Figure 5

Taxe après  
le sraphe  
linéaire

*A*  
*B*  
*AB*  
*D*  
*AD*  
*G*

*mode de conduite*  
*type de bougies*  
*mode de conduite \* bougies*  
*chargement*  
*mode de conduite \* chargement*  
*type de pneus*

COLONNES -> 1 2 3 4 5 ~~6~~ 7

E S S A I S	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	2	2	2	2
	3	1	2	2	1	1	2
	4	1	2	2	2	2	1
	5	2	1	2	1	2	1
	6	2	1	2	2	1	2
	7	2	2	1	1	2	1
	8	2	2	1	2	1	1

Affectation des paramètres - Figure 6

*A*  
*B*  
*D*  
*G*

*mode de conduite*  
*type de bougies*  
*chargement*  
*type de pneus*

1 2 4 7

E S S A I S	1	sportive	type B1	sur galerie	type P1
	2	sportive	type B1	en remorque	type P2
	3	sportive	type B2	sur galerie	type P2
	4	sportive	type B2	en remorque	type P1
	5	calme	type B1	sur galerie	type P2
	6	calme	type B1	en remorque	type P1
	7	calme	type B2	sur galerie	type P1
	8	calme	type B2	en remorque	type P2

Plan d'essais - Figure 7

## Étape 4 : RÉALISER LES ESSAIS

Pour obtenir une précision convenable malgré la dispersion, nous répétons les essais plusieurs fois. Dans notre cas, cela est fait une fois.

	<div style="display: flex; justify-content: space-around; text-align: center;"> <div style="text-align: center;">A mode de conduite</div> <div style="text-align: center;">B type de bougies</div> <div style="text-align: center;">D chargement</div> <div style="text-align: center;">G type de pneus</div> </div>							
	1	2	4	7	résultat 1	résultat 2 (répétition)		
E S S A I S	1	sportive	type B1	sur galerie	type P1	7,10	6,90	7
	2	sportive	type B1	en remorque	type P2	5,81	5,75	5,78
	3	sportive	type B2	sur galerie	type P2	7,00	6,70	6,85
	4	sportive	type B2	en remorque	type P1	5,75	5,70	5,725
	5	calme	type B1	sur galerie	type P2	5,90	5,70	5,8
	6	calme	type B1	en remorque	type P1	5,47	5,40	5,435
	7	calme	type B2	sur galerie	type P1	5,80	5,60	5,7
	8	calme	type B2	en remorque	type P2	5,33	5,41	5,37
								5,9575

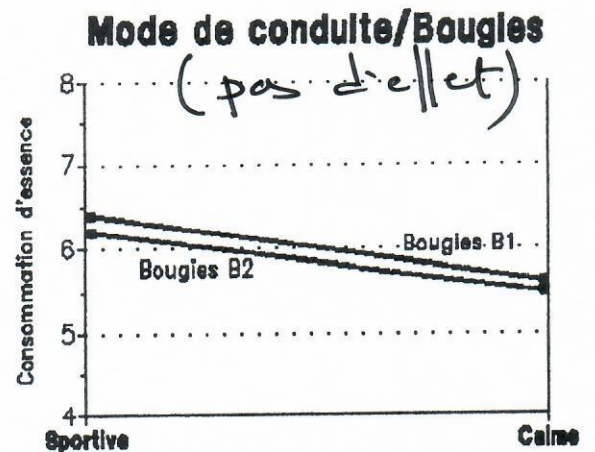
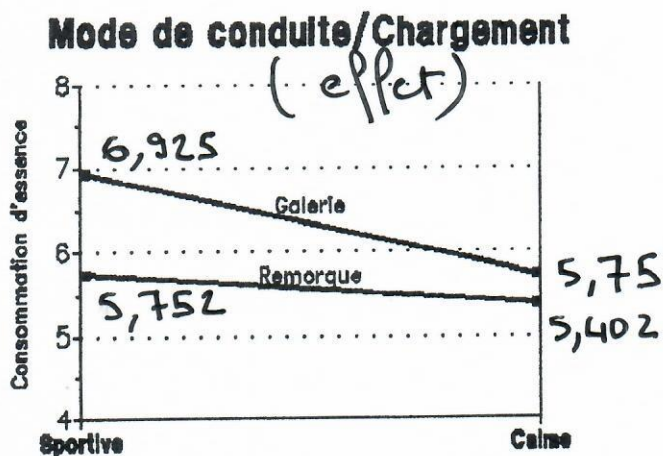
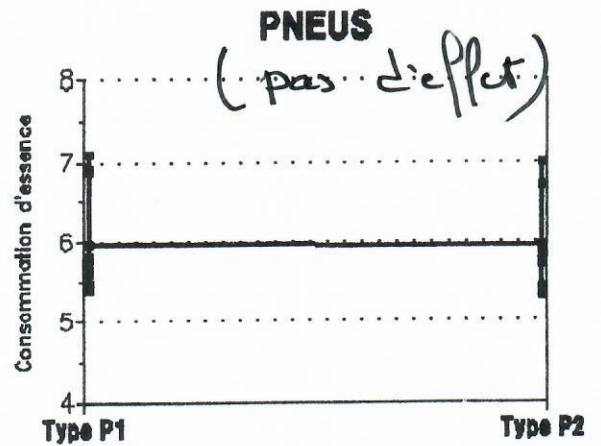
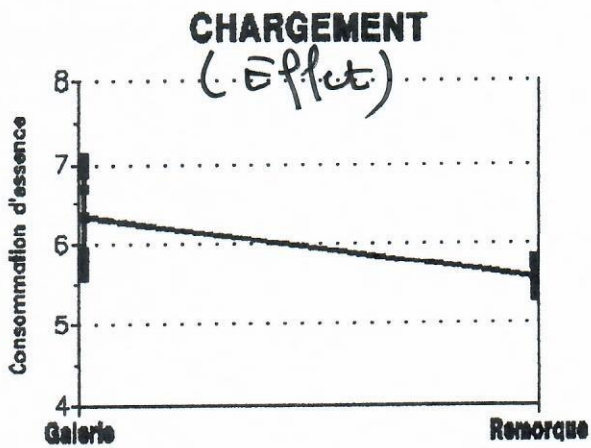
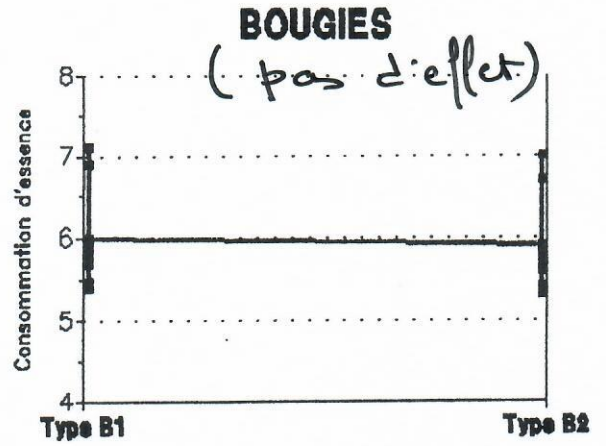
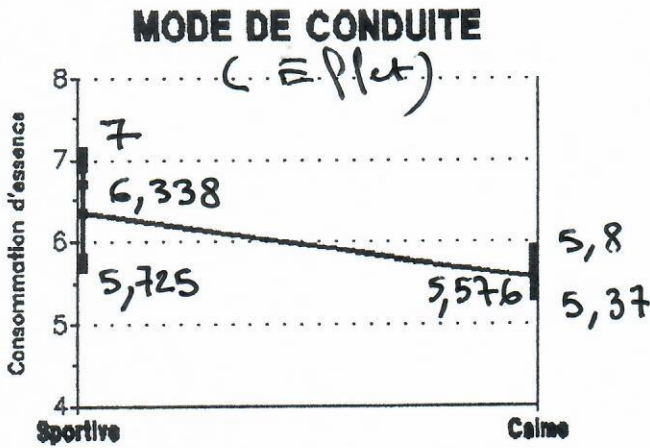
Résultats d'essais - Figure 8

l'automobile même 2 séries d'essai  
et note la consommation d'essence  
en litres pour 100 km.

# Étape 5 : ANALYSER LES RÉSULTATS

Analyse graphique : cf. figure 9

Permet de mesurer l'effet des paramètres et interactions



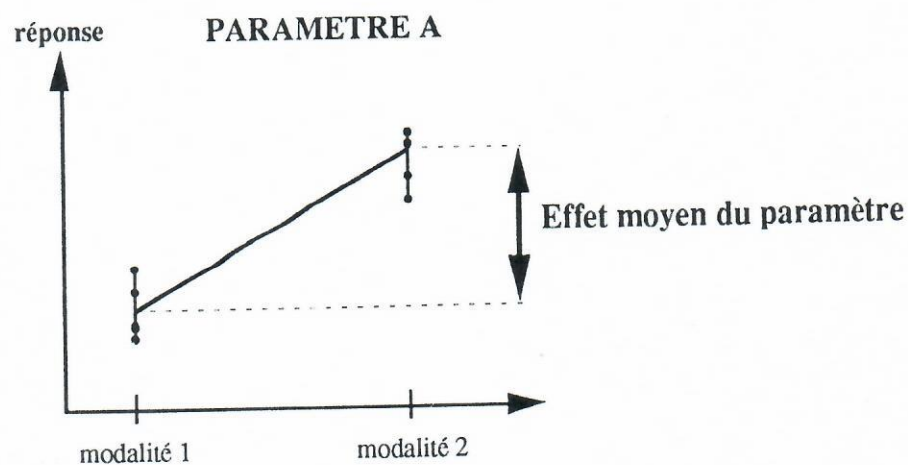
Graphiques d'effet des paramètres et interactions - Figure 9

**Interprétation :** le mode de conduite et le chargement ont un effet sur la consommation (pente de droite importante). Les bougies et les pneus n'ont aucun effet.

Le mode de conduite interagit avec le chargement : si l'on conduit sportivement, le gain sur la consommation d'essence est plus important lorsqu'on utilise une remorque plutôt qu'une galerie.

Si l'on conduit calmement, la consommation est peu influencée par la disposition du chargement.

**Calcul de l'effet moyen des paramètres :** dans le plan considéré, chaque paramètre intervient 8 fois à la modalité 1 et 8 fois à la modalité 2 (deux résultats par essai). L'effet moyen d'un paramètre est représenté par la différence des moyennes obtenues pour les modalités 1 et 2.



Graphique d'effet - Figure 10

**Exemple :**

Moyenne des résultats pour une conduite sportive = 6,34

Moyenne des résultats pour une conduite calme = 5,58

Effet moyen du paramètre *mode de conduite* =  $6,34 - 5,58 = 0,76$

L'effet moyen des autres paramètres du plan est calculé de la même manière.

PARAMÈTRE	EFFET
M : Mode de conduite	0,76
B : Bougies	0,09
C : Chargement	0,76
P : Pneus	0,02

$E_{n_1} = 6,338 - 5,957$   
 $E_{M_2} = 5,576 - 5,957$   
 $E_{n_1} = 0,381$   $E_{n_2} = -0,381$   
 $E_{\text{moy } \Pi} = 0,76$

Effets moyens des paramètres - Figure 11

## Analyse statistique (analyse de la variance)

Permet de valider les effets

Cette analyse permet la validation statistique des effets ainsi calculés (test de Fisher-Snedecor) et le calcul du degré de contribution des paramètres à la variance observée.

ANALYSE DE VARIANCE : CONSOMMATION					
Paramètre	ddl	S des carrés	Variance	Fisher calculé	Décision
Mode de conduite M	1	2,326	2,326	178,92	**
Bougies B	1	0,034	0,034	2,61	ns
Chargement C	1	2,310	2,310	177,69	**
Pneus P	1	0,001	0,001	0,07	ns
M*B	1	0,000	0,000	0	ns
M*C	1	0,680	0,680	52,30	**
Résidu	9	0,118	0,013	$F_{\alpha > 5\%} (1/9) = 5,12$	
Total	15	5,469			

\*\* = paramètre statistiquement significatif (niveau de confiance de 95 %)  
 ns = paramètre statistiquement non significatif.

Pour l'analyse de la variance: reprendre le cours,

Tableau d'analyse de la variance - Figure 12

POURCENTAGE DE CONTRIBUTION : CONSOMMATION		
Paramètre	Somme des carrés	Contribution
M	2,326	42,53 %
B	0,034	0,62 %
C	2,310	42,24 %
P	0,001	0,02 %
M*B	0,000	0 %
M*C	0,680	12,43 %
Résidu	0,118	2,16 %
Total	5,469	100 %

$$\rightarrow \frac{2,326 \times 100}{5,469}$$

Pourcentage de contribution - Figure 13

L'analyse confirme l'observation faite sur les graphiques : les paramètres *mode de conduite*, *chargement* et l'interaction *mode de conduite \* chargement* influent de façon significative.



## Étape 6 : CONCLURE

Les types de pneus et de bougies influent peu sur la consommation d'essence, l'automobiliste pourra choisir les moins chers.

Il est préférable d'utiliser une remorque plutôt qu'une galerie pour transporter une charge.

Mais pour réduire de façon sensible la consommation d'essence, la meilleure solution reste encore la conduite calme !

On retient les paramètres  $M$  et  $C$   
 (conduite) (chargement)  
 et l'interaction  $MC$

$\bar{Y}_{calculée} =$	moy générale	=	5,9575
	$E_{M_1}; E_{M_2} [M]$		0,381 ; -0,381
	$E_{C_1}; E_{C_2} [C]$		0,38 ; -0,38
$t [M]$	$E_{M_1C_1}; E_{M_1C_2}$		0,206    0,206
	$E_{M_2C_1}; E_{M_2C_2} [C]$		-0,206    -0,206

$$\begin{aligned} \bar{Y}_{calculée}^{mini} &= 5,9575 - 0,381 - 0,38 - 0,206 \\ &= 4,99 \text{ l}/100 \text{ km.} \end{aligned}$$