



PLANS D'EXPERIENCES

STA106

A l'attention de Monsieur Luan JAUPI.



Guillaume CHEVRON

le **cnam**

Table des matières

Table des matières	1
I. Introduction et contexte économique	2
II. Description du problème rencontré.....	2
III. Calcul de la réponse.....	3
IV. Choix des facteurs.....	3
A. Premier facteur : le prestataire autocariste	3
B. Deuxième facteur : la durée du trajet	3
C. Troisième facteur : l'horaire	3
D. Quatrième facteur : le modèle d'autocar	4
E. Cinquième facteur : le taux de remplissage.....	4
V. Choix du modèle et des modalités de réalisation des essais	4
VI. Réalisation des essais.....	5
VII. Mesure des résultats.....	5
VIII. Orthogonalité du plan.....	6
IX. Analyse de la réponse	6
X. Vérification des hypothèses.....	7
A. Normalité des erreurs.....	7
B. Absence d'autocorrélation	7
XI. Analyse de la variance	8
XII. Définition de la configuration optimale des facteurs	9
XIII. Mise en œuvre logistique et opérationnelle.....	9

I. Introduction et contexte économique

La récente loi pour la croissance, l'activité et l'égalité des chances économiques du 6 août 2015 a libéralisé le transport régulier interurbain de voyageurs par autocar. Cette libéralisation a permis à plusieurs fournisseurs de transport spécialisé dans les autocars longue distance de se lancer à la conquête de ce marché et d'exploiter un nombre grandissant de lignes et de dessertes, reliant les différentes communes et régions de France.

Alors que de nombreuses sociétés privées et publiques ont tenté ce pari audacieux de concurrencer d'autres moyens de transport comme le covoiturage, le train ou encore l'avion, seules deux ont réussi à tirer leur épingle du jeu et à perdurer jusqu'à aujourd'hui. Ces deux fournisseurs de transport autocariste relient aujourd'hui un grand nombre de communes et espèrent ainsi devenir rentables à moyen terme,

Plusieurs modèles économiques existent au sein de ce marché, mais il semblerait que le modèle adopté par la société Flexicar soit l'un des plus performant en termes de rentabilité. Ce modèle consiste à partager l'activité de transport en deux fonctions principales : le service de transport en lui-même, et la commercialisation du service.

La société Flexicar a donc fait le choix de travailler conjointement avec des partenaires autocaristes. Ces derniers sont de petites et moyennes entreprises, immatriculées en France, et ont pour rôle d'opérer le service de transports entre les différentes villes françaises desservies. Ces partenaires possèdent les autocars et emploient les conducteurs. Ils doivent néanmoins respecter une charte de qualité afin de pouvoir opérer aux couleurs de la société Flexicar. De ce fait, des contrôles inopinés sont effectués afin de garantir le respect de cette charte.

De son côté, la société Flexicar a pour rôle de commercialiser et de rendre visible la marque ainsi que le service délivré à sa clientèle par le biais de différents canaux d'acquisition.

II. Description du problème rencontré

La demande se développant de manière importante, la société Flexicar souhaite profiter de ce contexte économique favorable pour ouvrir une nouvelle ligne entre la ville A et la ville B. Pour le lancement de cette ligne spécifique, la société de transport souhaite mettre en place un suivi financier et opérationnel en mesurant d'une part la rentabilité de la ligne, et d'autre part la qualité de l'expérience client.

Les critères de rentabilité se résument essentiellement par des indicateurs de performance dont le plus critique correspond au revenu généré pour 100 kilomètres parcourus. Cet indicateur est piloté par des processus internes calibrés et optimisés, et ne nécessite donc pas de faire l'objet d'une phase de test particulière.

Toutefois, mesurer la qualité de l'expérience client au lancement d'une nouvelle ligne est une première pour la société Flexicar. Pour ce faire, elle décide d'utiliser le Net Promoter Score (NPS), indicateur-clé utilisé dans la plupart des entreprises de transport, qui permet d'estimer la qualité de chaque trajet effectué en modélisant la perception des passagers à un temps donné vis-à-vis du service délivré. En d'autres termes, cet indicateur donne une estimation de la qualité de l'expérience client pour chacun des trajets effectués.

En plus des critères de rentabilité, l'objectif pour la société Flexicar est donc de maximiser le NPS pour le lancement définitif de sa nouvelle ligne.

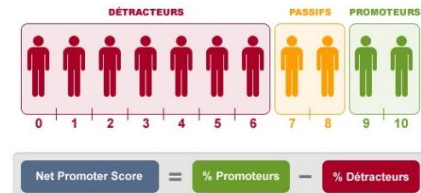
Elle décide donc de mettre en place une phase de trajets-tests (essais), en fonction de plusieurs caractéristiques clés à déterminer au préalable (facteurs), et de mesurer le NPS (réponse) pour chacun des voyages entrepris. L'idée est de garantir la pérennité de la nouvelle ligne en optimisant la perception de la qualité du voyage de la clientèle, à partir d'un nombre minimal de trajets effectués durant cette phase de test.

III. Calcul de la réponse

Le calcul du NPS est effectué à partir des réponses données par la clientèle à la question suivante : « Quelle est la probabilité que vous recommandiez ce trajet avec la société Flexicar à un(e) ami(e), un(e) collègue ou un(e) membre de votre famille ? ». Cette question est intégrée au sein d'une enquête de satisfaction, administrée à l'ensemble des passagers après chaque voyage. Chaque passager peut ainsi donner une recommandation sur une échelle de notation de 11 points, allant de 0 (tout à fait improbable) à 10 (tout à fait probable). Les réponses obtenues sont ensuite classées parmi les trois catégories suivantes selon leur degré d'enthousiasme :

- ➡ Promoteurs = passagers donnant une note de 9 ou 10
- ➡ Passifs = passagers donnant une note de 7 ou 8
- ➡ Détracteurs = passagers donnant une note de 0 à 6

Le calcul du NPS pour un trajet donné peut alors être effectué à partir de l'égalité suivante :



$$NPS = \frac{\text{Nombre de promoteurs}}{\text{Nombre de passagers}} - \frac{\text{Nombre de détracteurs}}{\text{Nombre de passagers}}$$

Pour des raisons de simplicité de lecture, le NPS n'est pas exprimé en pourcentage, mais comme nombre absolu qui se situe entre -100 et +100.

IV. Choix des facteurs

Cette phase de test requiert une bonne connaissance empirique du secteur autocariste car, compte tenu de la précocité de ce nouveau marché, il n'existe que très peu d'études statistiques référentes. Aussi, la société Flexicar décide de faire appel aux services d'un statisticien, de plusieurs spécialistes du transport routier et des professionnels autocaristes afin de choisir les facteurs les plus pertinents pour la construction de son plan d'expériences.

A. Premier facteur : le prestataire autocariste

Bien que le modèle économique soit fortement soutenu par la performance de la société Flexicar, la qualité du voyage semble être intuitivement davantage impactée par la performance des prestataires autocaristes. Aussi, le choix du prestataire pourrait s'avérer être un facteur significatif permettant de maximiser le NPS.

Compte tenu de l'importance stratégique de cette nouvelle ligne et de son emplacement géographique, le statisticien identifie deux entreprises autocaristes ayant déjà opérées par le passé sous les couleurs de la société Flexicar, et pouvant correspondre à ses attentes : Fournier Voyages (niveau bas) et Poincaré Tourisme (niveau haut).

B. Deuxième facteur : la durée du trajet

Recommandé en amont par plusieurs spécialistes du secteur, le parcours effectués par l'autocar semble également être un facteur potentiellement significatif dans le cadre de l'étude car il influe sur le temps de trajet. Le statisticien a donc identifié deux parcours distincts (450 km et 520 km), pouvant correspondre parfaitement aux attentes logistiques initiales et au maillage routier français. Le premier parcours, composé de manière équilibrée de routes nationales et d'autoroutes, est plus direct pour une durée effective du trajet de 5h30 (niveau bas). Le second parcours, principalement composé d'autoroutes et voies rapides, effectue un léger détour pour une durée effective du trajet de 4h50 (niveau haut).

C. Troisième facteur : l'horaire

L'horaire du trajet est également un facteur important à prendre en compte. La société Flexicar a l'habitude d'opérer deux types de ligne : les lignes classiques en journée et les lignes de nuit. Ces deux types de ligne ont des caractéristiques opérationnelles, une perception moyenne de la clientèle et des spécificités contractuelles bien souvent différentes.

D. Quatrième facteur : le modèle d'autocar

Plusieurs modèles d'autocar sont utilisés dans le transport longue distance. La principale typologie s'articule entre les modèles simples sans étage (niveau bas) ou doubles avec étage (niveau haut). Ce facteur, identifié comme potentiellement significatif par le statisticien, fait fluctuer la capacité de l'autocar en termes de passagers.

E. Cinquième facteur : le taux de remplissage

Le nombre de passagers par rapport au nombre de places libres, indicateur très utilisé par les professionnels du transport et plus communément appelé « taux de remplissage », est également identifié par le statisticien comme facteur potentiellement significatif en vue de maximiser le NPS. Le niveau de rentabilité étant estimé empiriquement à 60%, il décide donc de discrétiser les valeurs en deux niveaux de facteurs autour de ce seuil : moins de 60% (niveau bas) et plus de 60% (niveau haut).

V. Choix du modèle et des modalités de réalisation des essais

Ayant désormais identifié l'ensemble des facteurs et des niveaux de facteurs, le statisticien fait dans un premier temps le choix du modèle Y suivant :

$$Y = I + A + B + C + D + E + AB + AC + AD + AE + BC + BD + BE + CD + CE + DE$$

Toutefois, la prise en compte des cinq facteurs choisis, ainsi que de l'ensemble des interactions d'ordre 2, ne permet pas de dégager le moindre degré de liberté pour estimer l'erreur expérimentale. Le modèle étant saturé, le statisticien doit donc trouver un moyen d'obtenir un à trois degrés de liberté, nécessaires pour effectuer des tests statistiques sur les résultats. Plusieurs possibilités s'offrent à lui.

Supprimer un à plusieurs facteurs : le travail de collecte d'informations, effectuée en amont par le statisticien, représente d'ores et déjà un coût important pour la société Flexicar. Cette étude préliminaire a permis d'identifier cinq facteurs discrétisés, considérés comme potentiellement significatifs. Aussi, la suppression de l'un de ces facteurs représenterait un coût additionnel superflu. Cette solution est donc également à écarter.

Négliger une à plusieurs interactions d'ordre 2 : pour des raisons de précisions, le statisticien a souhaité conserver l'ensemble des interactions d'ordre 2 au sein du modèle initial. Toutefois, ce choix statistique a un coût important puisqu'il ne permet pas de dégager suffisamment de degrés de liberté. La suppression d'un facteur étant également jugée comme trop coûteuse, le statisticien décide alors de supprimer une interaction d'ordre 2 avec de dégager un degré de liberté. Pour ce faire, il procède à une analyse de la variance pas à pas, en excluant une seule interaction à chaque pas, et en observant la significativité des différents facteurs et interactions retenus. Cette méthode empirique lui permet d'identifier les interactions ayant le moins de significativité au sein du modèle, et ainsi d'exclure l'interaction ayant un poids statistique négligeable : l'interaction BD (Durée-Modèle). Le modèle Y' retenu est donc le suivant :

$$Y' = I + A + B + C + D + E + AB + AC + AD + AE + BC + BE + CD + CE + DE$$

Le statisticien décide ensuite de construire un plan de criblage demi-fractionnaire à $2^{(5-1)}$ essais, respectant l'orthogonalité, avec une résolution 5 optimale. La randomisation des essais permet au statisticien de se protéger contre les effets de variables perturbatrices.

Pour des raisons de lisibilité, il opte pour un codage Box. Ce dernier permet d'avoir pour chaque facteur le même domaine de variation (entre -1 et +1), et ainsi de pouvoir comparer entre eux l'effet des facteurs.

Facteurs	Bas	Haut	Unités	Continu
A:Prestataire	-1.0	1.0		Non
B:Durée	-1.0	1.0		Oui
C:Horaire	-1.0	1.0		Non
D:Modèle	-1.0	1.0		Non
E:Remplissage	-1.0	1.0		Oui

Réponses	Unités
NPS	

VI. Réalisation des essais

A partir de cet ensemble de paramètres préalablement déterminés, le statisticien crée un premier plan d'expérience factoriel semi-fractionnaire et orthogonal, répertoriant l'ordre et la configuration des 16 essais à réaliser.

Essais	Prestataire	Durée	Horaire	Modèle	Remplissage	NPS
4	-1	1	-1	-1	-1	
16	-1	-1	-1	1	-1	
5	1	-1	-1	-1	-1	
6	1	1	-1	1	-1	
3	-1	1	-1	1	1	
10	-1	-1	-1	-1	1	
13	1	-1	-1	1	1	
15	1	1	-1	-1	1	
8	-1	1	1	1	-1	
11	-1	-1	1	-1	-1	
1	1	-1	1	1	-1	
2	1	1	1	-1	-1	
9	-1	-1	1	1	1	
12	-1	1	1	-1	1	
7	1	1	1	1	1	
14	1	-1	1	-1	1	

Afin de vérifier l'équilibrage du plan, il répertorie l'ensemble des essais dans la matrice suivante :

Facteurs	Valeurs non manquantes	Valeurs uniques	Minimum	Maximum
A:Prestataire	16	2	-1	1
B:Durée	16	2	-1	1
C:Horaire	16	2	-1	1
D:Modèle	16	2	-1	1
E:Remplissage	16	2	-1	1
NPS	16	13	-11	14

Une fois ce premier travail préliminaire effectué, le statisticien communique à la direction et aux équipes opérationnelles le plan d'expérience en vue d'obtenir une réponse (i.e. une valeur du NPS) pour chacun des essais à réaliser (i.e. pour chaque trajet test effectué).

VII. Mesure des résultats

En suivant le protocole du plan d'expérience, la phase test du lancement de la ligne est effectuée. Quatre des cinq facteurs sélectionnés sont propres à la société Flexicar car leurs niveaux de facteurs résultent d'un choix stratégique. Le cinquième facteur quant à lui (le taux de remplissage) ne peut être fixé en pratique par la société car il est facteur de l'attractivité de l'offre (le nombre de billets vendus). Toutefois, la société Flexicar décide de fixer de manière délibérée le taux de remplissage des autocars pour les 16 trajets tests, en ne commercialisant que le nombre de billets nécessaires.

Une fois l'ensemble des trajets effectués, et les questionnaires de satisfaction analysés, le statisticien incorpore la valeur du NPS au plan d'expérience initial.

Essais	Prestataire	Durée	Horaire	Modèle	Remplissage	NPS
4	-1	1	-1	-1	-1	14
16	-1	-1	-1	1	-1	12
5	1	-1	-1	-1	-1	8
6	1	1	-1	1	-1	6
3	-1	1	-1	1	1	7
10	-1	-1	-1	-1	1	6
13	1	-1	-1	1	1	-2
15	1	1	-1	-1	1	2
8	-1	1	1	1	-1	-3
11	-1	-1	1	-1	-1	-3
1	1	-1	1	1	-1	-7
2	1	1	1	-1	-1	-3
9	-1	-1	1	1	1	-8
12	-1	1	1	-1	1	-9
7	1	1	1	1	1	-11
14	1	-1	1	-1	1	-10

VIII. Orthogonalité du plan

A partir de la matrice des corrélations, correspondant ici à une matrice identité et indiquant les niveaux des confusions entre les effets, le statisticien vérifie l'orthogonalité du plan. Si certains termes en dehors de ceux de la diagonale avaient été non nuls, les estimations des effets associés à ces lignes et à ces colonnes seraient alors corrélées. Dans ce cas, il n'y aurait aucune corrélation entre les effets.

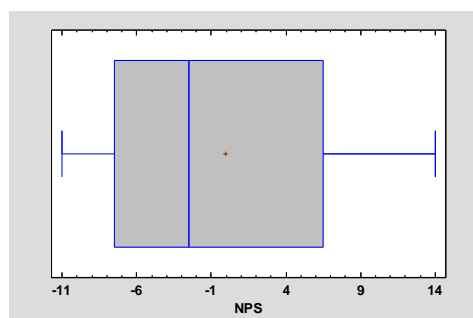
	Effets	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Moyenne	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	A:Prestataire	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	B:Durée	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	C:Horaire	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	D:Modèle	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	E:Remplissage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	AB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	AC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	AD	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	AE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	BC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	BE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
13	CD	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
14	CE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
15	DE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0

IX. Analyse de la réponse

Le statisticien procède ensuite à l'analyse de la réponse obtenue en effectuant des mesures de forme, de tendance centrale, et de variabilité.

Effectif	16
Moyenne	-0,0625
Médiane	-2,5
Ecart-type	8,062
Coef. de variation	-12899,2%
Minimum	-11,0
Maximum	14,0
Etendue	25,0
Asymétrie std.	0,462015
Aplatissement std.	-0,973901

Quantiles	NPS
1,0%	-11,0
5,0%	-11,0
10,0%	-10,0
25,0%	-7,5
50,0%	-2,5
75,0%	6,5
90,0%	12,0
95,0%	14,0
99,0%	14,0



Les valeurs obtenues pour les coefficients d'aplatissement standardisé et d'asymétrie standardisée étant comprises en -2 et +2, l'écart à la normalité n'est pas jugé comme significatif. Autrement dit, ces deux mesures semblent indiquer que la réponse suit une loi Normale. La boîte à moustache semble aller également dans ce sens avec une distribution aux allures normales.

Intervalle de confiance	LC inf. à 95,0%	LC sup. à 95,0%
Pour la moyenne	-4,35845	+4,23345
Pour l'écart-type	+5,95544	+12,4775

En supposant la normalité de la réponse obtenue et pour un échantillonnage répété (i.e. pour une phase de test plus longue), il en déduit que la vraie moyenne du NPS est comprise entre -4,35845 et +4,23345 (i.e. égale à $-0,0625 \pm 4,29595$), tandis que le vrai écart-type est compris entre 5,95544 et 12,4775.

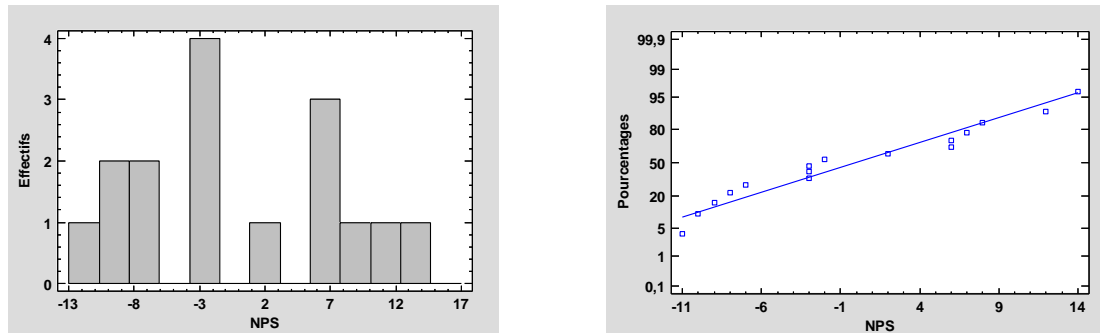
Il décide de considérer davantage l'intervalle de confiance pour la moyenne car ce dernier est robuste et peu sensible à la non-normalité. A l'inverse, l'intervalle de confiance pour l'écart-type y est très sensible. Si les données ne suivaient pas une loi normale, l'intervalle pour l'écart-type pourrait s'avérer incorrect.

X. Vérification des hypothèses

Avant de se lancer dans l'étude des résultats obtenus, le statisticien décide de vérifier l'ensemble des hypothèses nécessaires à l'étude de la variance.

A. Normalité des erreurs

Avant de procéder à d'éventuels tests en vue de vérifier la normalité des erreurs, le statisticien souhaite évaluer de manière graphique et visuelle la distribution de la réponse.

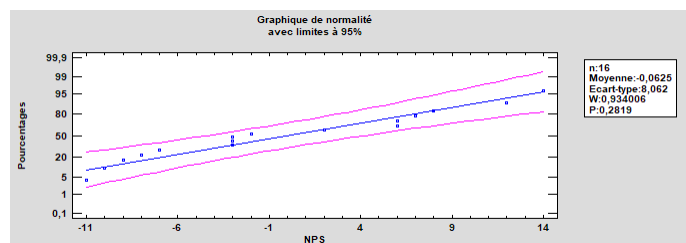


L'histogramme des effectifs, ici des valeurs du NPS, semble indiquer le début d'une distribution gaussienne. Toutefois, par manque de valeurs du fait du peu d'essais effectués, il est difficile de conclure graphiquement à une éventuelle normalité. Le graphique de normalité quant à lui semble également indiqué une normalité forte.

A partir de cette appréciation graphique préliminaire, le statisticien souhaite vérifier la normalité des erreurs à partir de tests statistiques. Parmi les méthodes envisageables, il choisit les tests de Shapiro-Wilk et du rang signé. En effet, le test du rang signé est moins sensible à la présence de points extrêmes, ce qui est intéressant compte tenu de la taille limitée de l'échantillon. De même, le test de Shapiro-Wilk est réputé comme particulièrement puissant pour des effectifs inférieurs à cinquante individus, ce qui correspond parfaitement à l'échantillon observé.

Le test de Shapiro-Wilk indique un statistique W égale à 0,934006 pour une valeur de la probabilité de 0,2819, strictement supérieur à 0,05.

Plus W est élevé, plus la compatibilité avec la loi normale est crédible, ce qui confirme donc l'hypothèse de normalité.



Le test du rang signé teste l'hypothèse nulle que la médiane de NPS est égale à 0,0 contre l'hypothèse alternative que la médiane de NPS est non égale à 0,0. Il est basé sur la comparaison des rangs moyens des valeurs au-dessus et au-dessous de la médiane hypothétique.

La valeur de la probabilité obtenue pour ce test est de 0,876553, i.e. supérieure strictement à 0,05. Cela signifie que l'on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle au niveau de confiance de 95,0%.

Rang moyen des valeurs	
Au-dessous de la médiane hypothétique	7,94444
Au-dessus de la médiane hypothétique	9,21429

B. Absence d'autocorrélation

Le statisticien doit à présent vérifier l'absence d'autocorrélation entre les valeurs de l'échantillon observé, i.e. le fait que chacune des valeurs ne soit pas corrélées par la ou les valeurs qui la précèdent. Pour ce faire, il procède au test de Durbin-Watson qui teste les résidus pour déterminer s'il y a une corrélation significative en se basant sur l'ordre dans lequel ils apparaissent dans le plan d'expérience. La valeur de la statistique obtenue est de 2, ce qui implique nécessairement le rejet de l'hypothèse alternative. De même, l'étude de l'échantillon donne un intervalle d'autocorrélation d'ordre 1 de $0,258089 \pm 0,489992$. Cet intervalle contient la valeur 0, et indique donc une absence de corrélation entre les observations successives.

XI. Analyse de la variance

L'hypothèse de normalité étant vérifiée, les tests statistiques concernant l'écart-type sont alors rendus possibles, et le statisticien peut donc procéder à l'analyse des expériences.

Afin de mesurer la pertinence du modèle choisi, le statisticien se penche sur plusieurs statistiques. La statistique du R-carré ajusté indique que le modèle ajusté explique 99,9038% de la variabilité de la réponse, ce qui confirme la justesse du modèle.

R-carré	99,9936%
R-carré ajusté	99,9038%
Erreur-type d'estimation	0,25
Erreur absolue moyenne	0,0625

Afin de mesurer la pertinence du modèle choisi, le statisticien se penche sur plusieurs statistiques. La statistique du R-carré ajusté indique que le modèle ajusté explique 99,9038% de la variabilité de la réponse, ce qui confirme la justesse du modèle. De même, l'erreur-type d'estimation indique que l'écart-type des résidus est de 0,25. L'erreur absolue moyenne (MAE) de 0,0625 est quant à elle la valeur moyenne des résidus.

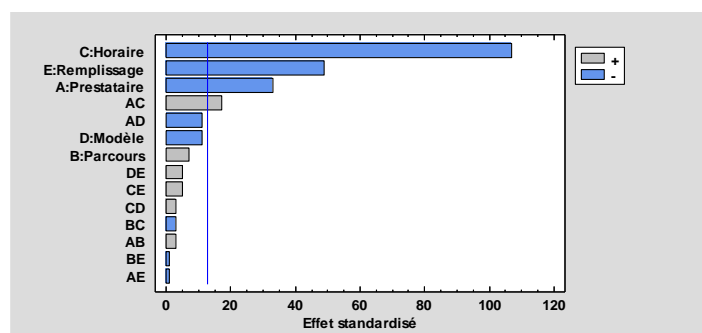
Une fois ces statistiques préliminaires obtenues, le statisticien analyse le tableau de l'ANOVA qui décompose la variabilité du NPS en lignes séparées pour chacun des effets. Il teste alors la signification statistique de chacun des effets en comparant la moyenne quadratique par rapport à une estimation de l'erreur expérimentale.

Source	Somme des carrés	DDL	Moyenne quadratique	Rapport F	Probabilité
A:Prestataire	68,0625	1	68,0625	1089,00	0,0193
B:Durée	3,0625	1	3,0625	49,00	0,0903
C:Horaire	715,563	1	715,563	11449,00	0,0059
D:Modèle	7,5625	1	7,5625	121,00	0,0577
E:Remplissage	150,063	1	150,063	2401,00	0,0130
AB	0,5625	1	0,5625	9,00	0,2048
AC	18,0625	1	18,0625	289,00	0,0374
AD	7,5625	1	7,5625	121,00	0,0577
AE	0,0625	1	0,0625	1,00	0,5000
BC	0,5625	1	0,5625	9,00	0,2048
BE	0,0625	1	0,0625	1,00	0,5000
CD	0,5625	1	0,5625	9,00	0,2048
CE	1,5625	1	1,5625	25,00	0,1257
DE	1,5625	1	1,5625	25,00	0,1257
Erreur totale	0,0625	1	0,0625		
Total (corr.)	974,938	15			

Il observe alors que 4 des 15 effets ont des probabilités inférieures à 0,05, ce qui indique qu'ils sont significativement différents de zéro au niveau de confiance de 95,0%. Trois facteurs et une interaction sont donc significatifs : le prestataire autocariste, l'horaire à laquelle le trajet a lieu, le taux de remplissage et l'interaction entre le prestataire l'horaire.

La significativité de ces mêmes effets est également observable à l'aide du graphique de Pareto standardisé pour la réponse.

A partir du calcul des valeurs de probabilité pour l'analyse de la variance, le statisticien dresse la liste des coefficients de régression pour le NPS.



L'équation de régression du modèle ajusté peut alors être formulée comme suit :

$$\text{NPS} = -0,0625 - 2,0625 \cdot \text{Prestataire} - 6,6875 \cdot \text{Horaire} - 3,0625 \cdot \text{Remplissage} + 1,0625 \cdot \text{Prestataire} \cdot \text{Horaire}$$

XII. Définition de la configuration optimale des facteurs

Connaissant la significativité de chacun des facteurs observés, le statisticien peut alors identifier la configuration optimale des combinaisons des niveaux de facteurs afin de maximiser la réponse.

Facteur	Bas	Haut	Optimum
A:Prestataire	-1,0	1,0	-1,0
B:Durée	-1,0	1,0	1,0
C:Horaire	-1,0	1,0	-1,0
D:Modèle	-1,0	1,0	-1,0
E:Remplissage	-1,0	1,0	-1,0

La valeur optimum du NPS est de 14,0625 et est obtenue avec la configuration suivante :

- ➡ Fournier Voyages (prestataire A)
- ➡ Durée du trajet la plus courte (4h50 pour 520 km)
- ➡ Lignes classiques (en journée)
- ➡ Modèle d'autocar simple (sans étage)
- ➡ Faible taux de remplissage (sous la barre des 60%)

XIII. Mise en œuvre logistique et opérationnelle

Une fois la configuration optimale des combinaisons des niveaux de facteurs déterminée à l'issu de la phase de test, la société Flexicar décide alors de verrouiller l'ensemble des conditions retenues afin d'opérer le plus qualitativement possible sa nouvelle ligne à moyen terme. Une seconde phase de test visant à valider les conditions initiales pourra être entreprise dans les six mois suivant le lancement afin de vérifier les conclusions de l'analyse des expériences.