

Plans d'expériences, interactions

Enoncé 13

Déterminez VI et VD dans les hypothèses suivantes :

- a) Un individu est d'autant plus attaché à une opinion qu'il s'est davantage engagé à la défendre.
- b) Le degré de violence d'un événement modifie sa mémorisation.
- c) Je l'aime plus qu'hier et bien moins que demain.
- d) Les individus agressifs assurent plus souvent le leadership dans un groupe, mais ils en satisfont moins les membres que les leaders non agressifs.
- e) On retient plus facilement un matériel significatif qu'un matériel dépourvu de sens.
- f) C'est dans les vieux pots que l'on fait les meilleures confitures.
- g) On restitue d'autant mieux une information que celle-ci est rappelée dans le même contexte que celui où elle a été apprise.
- h) Les aînés sont plus anxieux que les puînés.
- i) L'influence d'un discours est d'autant plus importante que l'orateur possède du prestige.
- j) Le nombre de conversations au cours d'un repas dépend étroitement de la disposition des individus autour de la table.

Indications de réponses : a) VI = intensité de l'engagement, VD = une mesure numérique liée à l'attachement à l'opinion.

b) VI = degré de violence d'un événement, VD = mesure numérique liée à la mémorisation de l'événement.

c) VI = Date, VD = mesure du degré d'amour.

d) Ici, deux hypothèses combinées :

VI = agressivité, VD liée à la prise de leadership

VI = agressivité, VD = mesure de la satisfaction des membres du groupe.

e) VI = significativité du matériel, VD = évaluation numérique de la performance mnésique.

f) VI = âge du pot, VD = mesure de la qualité de la confiture.

g) VI1 = contexte d'apprentissage, VI2 = contexte de rappel (ou lien (même / différent) entre contexte de rappel et contexte d'apprentissage), VD = évaluation numérique de la performance mnésique.

h) VI = rang de naissance, VD = mesure de l'anxiété.

i) VI = prestige de l'orateur, VD = mesure du degré d'influence.

j) VI = disposition autour de la table, VD = nombre de conversations.

Enoncé 14 Données Schizo

Dans une série d'expériences destinées à éclaircir la notion de "maladie mentale" on soumet des sujets diagnostiqués comme schizophrènes et des sujets normaux à une épreuve de "formation de concept". Tous les sujets retenus pour participer à l'expérience doivent posséder un Q.I. compris entre 100 et 105. Pourquoi ?

On compte pour chaque sujet le nombre d'essais nécessaires pour arriver à former un nouveau concept.

Dans cette expérience on utilise deux ensembles de stimuli : Le premier contient des images illustrant l'approbation sociale, le second des images illustrant la désapprobation sociale. L'auteur de cette expérience émet les prédictions suivantes (qui découlent de certaines théories de la personnalité et des performances intellectuelles) :

- a) Les sujets normaux devront arriver plus rapidement que les schizophrènes à accomplir l'épreuve et ce, indépendamment de la nature des images ;

- b) Les sujets normaux ne seront pas influencés par la nature des stimuli ;
 c) Les schizophrènes devront réussir moins facilement les épreuves comportant des images exprimant la désapprobation sociale que les épreuves décrivant l'approbation sociale.
 Quel est le plan d'expérience utilisé ? Les prédictions du chercheur se traduisent par des prédictions sur les hypothèses statistiques, lesquelles ?

*Éléments de réponses : Facteurs : sujet \mathcal{S} , maladie \mathcal{M}_2 , nature des images \mathcal{I}_2 . L'effet du facteur QI a été éliminé par le choix initial des sujets. Plan : $\mathcal{S} < \mathcal{M}_2 > * \mathcal{I}_2$. La combinaison des hypothèses a) et c) se traduit par une interaction : les sujets réussiront moins facilement que les sujets normaux, mais cette différence sera plus marquée dans la condition i_2 que dans la condition i_1 .*

Énoncé 15

Une expérience a été menée en utilisant un plan de la forme $\mathcal{S}_8 < \mathcal{A}_3 * \mathcal{B}_2 > * \mathcal{C}_4$.

- 1) a) Combien de groupes indépendants de sujets a-t-on constitué ?
- b) Combien de sujets différents ont été utilisés pour cette expérience ?
- c) Combien d'observations différentes d'un même sujet a-t-on effectué ?
- 2) a) Dériver ce plan d'expérience et donner les différentes sources de variation.
- b) Proposer un modèle de score.

*Réponses : 1) a) Les sujets sont emboîtés dans $< \mathcal{A}_3 * \mathcal{B}_2 >$. On a 6 combinaisons de modalités et donc 6 groupes de sujets.*

*b) L'indice dans $\mathcal{S}_8 < \mathcal{A} * \mathcal{B} >$ montre qu'il y a 8 sujets dans chaque groupe, soit en tout : $6 \times 8 = 48$ sujets.*

c) Les sujets sont croisés avec \mathcal{C}_4 , on a donc fait 4 observations de chaque sujet.

2) a) Les facteurs élémentaires sont ici : \mathcal{A} , \mathcal{B} , \mathcal{C} , $\mathcal{S}(\mathcal{AB})$.

Termes d'interaction d'ordre 1 : \mathcal{AB} , \mathcal{AC} , \mathcal{BC} , $\mathcal{CS}(\mathcal{AB})$.

Terme d'interaction d'ordre 2 : \mathcal{ABC} .

b) Le modèle de score peut s'écrire :

$$Y_{abcs} = \mu + \alpha_a + \beta_b + \gamma_c + s_{s(ab)} + \alpha\beta_{ab} + \alpha\gamma_{ac} + \beta\gamma_{bc} + \gamma s_{cs(ab)} + \alpha\beta\gamma + e_{cs(ab)}$$

Énoncé 16

Dans une tâche de dénomination de figures géométriques, l'auteur étudie l'évolution du temps de réaction verbale en fonction de la discriminabilité des figures.

Dans un premier temps, on présente aux sujets une série de figures. Pour la moitié d'entre eux, la série est constituée de 2 figures, pour l'autre moitié, de 4 figures. Dans chacun des cas, la série est constituée soit de figures facilement discriminables (triangle, carré, ...) soit de figures plus complexes (octogone, décagone, ...).

Dans un deuxième temps, on demande à chaque sujet de nommer une figure tirée au hasard dans la série précédente et on mesure le temps de réaction verbale du sujet.

48 sujets répartis en 4 groupes de 12 ont participé à l'expérience.

Les moyennes des temps de réaction mesurés en millisecondes observés sur chacun des quatre groupes sont indiqués dans le tableau suivant :

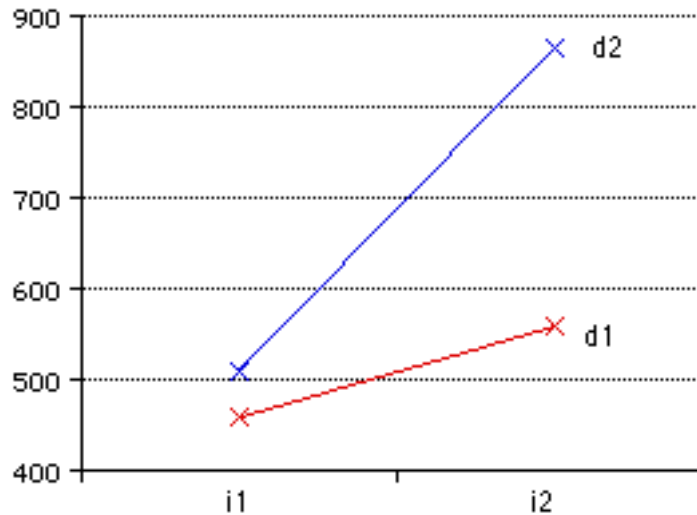
Incertitude	Discriminabilité	
	Forte	Faible
2 figures	460	510
4 figures	559	864

- 1) Définir la variable dépendante et les variables indépendantes prises en compte. Quel est le plan d'expérience utilisé ?

- 2) Au vu du tableau précédent, indiquer s'il semble y avoir une interaction entre les deux facteurs étudiés. Construire un graphe d'interaction. Commenter ce graphe en rédigeant une phrase exprimant comment se traduit l'effet d'interaction.
- 3) a) Dériver ce plan d'expérience et donner les différentes sources de variation.
b) Proposer un modèle de score.

*Éléments de réponses : 1) Le plan utilisé est ici $\mathcal{S}_{12} < \mathcal{I}_2 * \mathcal{D}_2 >$.*

2) Le temps de réaction augmente lorsque la discriminabilité est plus faible. Mais cet effet est d'autant plus important que l'incertitude est élevée.



3) a) Les facteurs élémentaires sont ici : \mathcal{D} , \mathcal{I} , $\mathcal{S}(\mathcal{DI})$.

Terme d'interaction d'ordre 1 : \mathcal{DI} .

b) Le modèle de score peut s'écrire : $Y_{dis} = \mu + \delta_d + \iota_i + \delta\iota_{di} + s_{s(di)}$.

Énoncé 17 Données Conrad

Dans une reprise d'une expérience de Conrad (1971), on veut mettre en évidence l'hypothèse de recherche suivante : "les enfants jeunes n'utilisent pas un codage phonologique en mémoire à court terme". Pour ce faire, on sélectionne cinq enfants de 5 ans et 5 enfants de 12 ans (Variable \mathcal{A} , avec deux modalités). On montre à chaque enfant un certain nombre de paires d'images représentant des objets dont on s'est assuré auparavant qu'ils sont nommés d'une seule manière par les enfants. On montre les images aux enfants. Puis on retourne les images (les enfants ne voient plus que le dos des images). Ensuite, on donne aux enfants une paire d'images identiques à celles retournées. Enfin, on leur demande de placer ces nouvelles images comme les images retournées sur la table. Pour la moitié des paires d'images les noms des objets se ressemblent (e.g., noix et doigt). Pour l'autre moitié, les noms des objets ne se ressemblent pas (e.g., maison et cheval). Conrad prédit que les enfants les plus vieux réussiront dans l'ensemble mieux que les enfants les plus jeunes, mais également que les enfants les plus vieux utiliseront un codage phonologique comme mnémotechnique (i.e., "la parole intérieure"). De ce fait, les enfants les plus vieux devront commettre plus d'erreurs lorsque les noms se ressemblent acoustiquement que lorsque les noms diffèrent. On présente à chaque enfant cinquante paires d'images correspondant à la modalité b_1 (dissemblance acoustique), et cinquante paires d'images correspondant à la modalité b_2 (ressemblance acoustique) ; la Variable Dépendante choisie est le nombre de paires d'images correctement reconstituées. L'ordre de présentation est "aléatorisé" pour chaque passation (Pourquoi cette précaution ?).

Essayer de traduire l'hypothèse de recherche en prédiction sur les sources de variation de l'analyse de variance.

Vous avez dû conclure que, d'une part, on s'attend à un effet principal de l'âge (qui est trivial), et, d'autre part, à un effet d'interaction : c'est le point d'importance, ou si vous préférez, le point crucial de la théorie. On retrouve, ici, le rôle essentiel de l'interaction "comme test de théorie".

Enoncé 18 Données Cochran

Les données suivantes, adaptées d'une expérience de Cochran et Cox, illustrent un paradigme expérimental extrêmement courant : la comparaison de deux conditions avec contrebalancement des ordres.

Il s'agissait de comparer l'efficacité de deux types de machines à calculer m1 et m2 : on supposera ici que 10 sujets, s1 à s10, ont exécuté la même séquence de calculs, successivement sur chacune des deux machines m1 et m2. Les sujets s1 à s5 ont travaillé d'abord (essai e1) avec la machine m1, puis (essai e2) avec la machine m2 ; les sujets s6 à s10 ont travaillé dans l'ordre inverse (m2 à l'essai e1, puis m1 à l'essai e2). Les résultats (temps d'exécution du calcul, en unités conventionnelles) sont les suivants :

	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10
m1	30	22	29	12	23	21	22	18	16	23
m2	14	5	17	14	8	21	13	13	7	24

Comme facteurs décrivant le protocole, nous prendrons d'abord : S (sujets : dix modalités, s1 à s10) ; M ou M2 (Machines : deux modalités m1 et m2) ; E ou E2 (essais : deux modalités e1 et e2). A ce facteur nous adjoindrons, pour des raisons qui apparaîtront plus loin, le facteur ordre O ou O2 avec :

o1 : machine m1 passée à l'essai e1 et machine m2 passée à l'essai e2 ;

o2 : machine m2 passée à l'essai e1 et machine m1 passée à l'essai e2 ;

N.B. : le tableau précédent correspond à la description des données selon le plan S*M2. Mais on pourrait également présenter ces données selon le tableau suivant :

	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10
e1	30	22	29	12	23	21	13	13	7	24
e2	14	5	17	14	8	21	22	18	16	23

Ce nouveau tableau correspondrait à la description selon le plan S*E2.

En introduisant le facteur ordre, ces mêmes données pourront encore être décrites selon l'un des plans S<O2>*M2 et S<O2 >*E2

Question principale : y a-t-il une différence d'efficacité entre les machines ? Question secondaire : y a-t-il une différence entre les deux essais ?

Du point de vue des objectifs de la recherche, le facteur Machine sera donc considéré comme principal, et le facteur Essai comme secondaire (ce qui n'implique nullement que, lors de la planification de l'expérience, on s'attendait à ce que l'effet du facteur Essai soit peu important ; les deux ordres ont été contrebalancés précisément afin de parer à l'éventualité d'un effet même important du facteur Essai).

Réponses : Il faut ici bien comprendre que le facteur "essai" représente l'interaction entre les facteurs "machine" et "ordre" ; de même, le facteur "machine" représente l'interaction entre les facteurs "ordre" et "essai".

L'analyse, au niveau descriptif, de l'interaction entre les facteurs "ordre" et "essai" (c'est-à-dire l'analyse de l'effet "machine") pourra être faite à partir du tableau suivant obtenu à partir des moyennes calculées dans chacune des conditions e_1o_1 , e_1o_2 , e_2o_1 , e_2o_2 :

	o_1	o_2	Moy.	Diff.
e_1	23.2	15.6	19.4	7.6
e_2	11.6	20.0	15.8	-8.4
Moy.	17.4	17.8	17.6	-0.4
Diff.	11.6	-4.4	3.6	16

Dans ce tableau, 3.6 représente deux fois l'effet "essai", 16 représente deux fois l'effet "machine". L'interaction apparaît clairement sur un graphe d'interaction.

On pourra répondre aux deux questions posées à l'aide de comparaisons de moyennes sur des groupes appariés, en ignorant le troisième facteur. La comparaison des moyennes obtenues pour $M = m_1$ et $M = m_2$ aboutit à $T_{obs} = 3.52$, valeur significative d'une différence entre machines au seuil de 1%. La comparaison des moyennes obtenues pour $E = e_1$ et $E = e_2$ aboutit à $T_{obs} = 1.09$. La différence n'est donc pas significative. L'analyse de variance permet ici une étude plus fine. Mais, le tableau d'analyse de variance est assez complexe, car il s'agit d'un plan à mesures partiellement répétées (sujets emboîtés dans un facteur et croisés avec l'autre facteur). On obtient par exemple :

Source	ddl	SC	CM	F_{cal}	Pr
O	1	0.8	0.8	0.018	0.89
$S < O >$	8	357	44.6		
E	1	64.8	64.8	3.08	0.11
Interaction	1	320	320	15.2	0.0045
Résidu	8	168.2	21.02		
Total	19	910.8			

On voit que l'effet du facteur "essai" est peu significatif (niveau de significativité de 11%) alors que l'interaction (c'est-à-dire l'effet du facteur "machine") est quant à lui très significatif. Notez que ce tableau pourrait tout aussi bien être donné sous la forme suivante :

Source	ddl	SC	CM	F_{cal}	Pr
O	1	0.8	0.8	0.018	0.89
$S < O >$	8	357	44.6		
M	1	320	320	15.2	0.0045
Interaction	1	64.8	64.8	3.08	0.11
Résidu	8	168.2	21.02		
Total	19	910.8			

Plans $S * A$

Enoncé 19 Données pharma

Dans une expérimentation de psychopharmacologie, on veut vérifier l'effet de deux drogues de type "amphétamines" sur le temps de réaction à une épreuve de psychomotricité. Afin de contrôler une source possible de perturbations, on décide de prendre les six mêmes

sujets exposés à trois traitements expérimentaux différents : Drogue A, Drogue B, Placebo. L'expérimentation est construite en "double aveugle". La variable dépendante sera le temps de réaction mesuré en ms.

Mais, avant tout, remplissez les six étapes du test :

1. Hypothèses Statistiques.
2. Choix du test.
3. Distribution d'échantillonnage.
4. Seuil de Signification.
5. Région de Rejet et Règle de décision.
6. Résultats et décision.

Voici les résultats :

Sujets	Condition expérimentale			Total
	Drogue A	Placebo	Drogue B	
s_1	165	231	217	613
s_2	172	219	217	608
s_3	109	199	243	551
s_4	197	219	160	576
s_5	199	247	162	608
s_6	193	245	191	629
Total	1035	1360	1190	3585

$$Q1 = 165 + 172 + \dots + 191 = 3585$$

$$Q2 = 165^2 + \dots + 191^2 = 735819$$

$$Q3 = (1035^2 + \dots + 1190^2)/6 = 722820.8$$

$$Q4 = (613^2 + \dots + 629^2)/3 = 715371.7$$

$$Q5 = 3585^2/18 = 714012.5$$

$$Q6 = SC_T = Q2 - Q5 = 21806.5$$

$$Q7 = SC_A = Q3 - Q5 = 8808.3$$

$$Q8 = SC_S = Q4 - Q5 = 1359.2$$

$$Q9 = SC_{AS} = Q2 - Q4 - Q3 + Q5 = 11639$$

Tableau d'ANOVA

Source	ddl	SC	CM	F_{cal}	$Pr(F_{cal})$
\mathcal{A}	2	8808.3	4404.15	3.784	.0592
\mathcal{S}	5	1359.2	271.84		
\mathcal{AS}	10	11639.0	1163.90		
Total	17	21806.5			

Avec la procédure des valeurs critiques : $F_{critique} = 4.10$ (avec $\nu_1 = 2, \nu_2 = 10$ au seuil $\alpha = .05$). $F_{cal} < F_{critique}$ on ne peut pas rejeter H_0 .

Enoncé 20 Données Inhibit

Dans une expérimentation sur l'inhibition proactive, des sujets apprennent une liste de dix paires de mots, puis doivent se rappeler ces paires deux jours plus tard. Après le rappel, les sujets doivent apprendre une deuxième liste de dix paires dont ils devront se rappeler deux jours plus tard, le rappel de la deuxième liste est suivie de l'apprentissage d'une

troisième, etc., jusqu'à la sixième liste. La variable indépendante sera la position ordinale de la liste (e.g., première, seconde, ..., sixième). La variable dépendante sera le nombre de paires correctement rappelées. Les auteurs de l'expérience prédisent que le rappel se détériorera à mesure que l'on progresse dans la position ordinale (prédiction qui traduit simplement l'effet de l'inhibition proactive...).

Voici les résultats :

Sujet	Position ordinale de la liste						Total
	1	2	3	4	5	6	
s_1	17	13	12	12	11	11	76
s_2	14	18	13	18	11	12	86
s_3	17	16	13	11	15	14	86
s_4	18	16	11	10	12	10	77
s_5	17	12	13	10	11	13	76
s_6	16	13	13	11	11	11	75
s_7	14	12	10	10	10	10	66
s_8	16	17	15	11	13	11	83
	129	117	100	93	94	92	625

Justifier le tableau d'ANOVA suivant :

Source	ddl	SC	CM	F_{cal}	$Pr(F_{cal})$
\mathcal{A}	5	146.85	29.37	10.32**	.000005
\mathcal{S}	7	52.48	7.50		
\mathcal{AS}	35	99.65	2.85		
Total	47	298.98			

Enoncé 21 Données Ecoute

On brouille l'écoute

Dans une étude sur l'effet du bruit sur la discrimination perceptive, on utilise six sujets. On mesure pour chaque sujet le nombre d'erreurs commises dans une tâche de discrimination perceptive. Les sujets sont soumis à trois conditions. Dans la première, les sujets accomplissent la tâche en l'absence de bruit ; dans la seconde, le bruit est présenté de façon intermittente (i.e., bruits d'avions) ; dans la dernière, le bruit est présenté de façon continue (bruits de "marteau piqueur") On obtient les résultats suivants :

Sujets	Absence de bruit	Bruit intermittent	Bruit continu
1	117	119	127
2	130	126	131
3	122	118	129
4	123	117	134
5	126	120	137
6	116	120	128

Après avoir identifié la ou les variable(s) indépendante(s), dépendante(s), vous répondrez à la question — classique — :

“La (ou les) Variable(s) Indépendante(s) influe(nt) elle(s) sur la (les) Variable(s) Dépendante(s) ?”

La condition “absence de bruit” diffère-t-elle des conditions “avec bruit” (qu’il soit continu ou intermittent) ?

Les deux conditions “avec bruit” sont elles équivalentes ?

Au vu des résultats, le chercheur remarque la moyenne obtenue dans la condition “bruit intermittent”. Il voudrait savoir si cette valeur diffère de la condition “témoin”. Comment répondra-t-il à cette question ? Et quelle sera la réponse ?

Réponses. Le tableau d’analyse de variance est donné par :

Source	ddl	SC	CM	F_{cal}	$Pr(F_{cal})$
Bruit	2	403.11	201.56	19.98**	.0003
Sujets	5	164.44	32.89		
Résidu	10	100.89	10.09		
Total	17	668.44			

On peut comparer la condition “absence de bruit” aux deux autres conditions en calculant $L_1 = 2\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - \bar{x}_3$ (méthode des contrastes orthogonaux, cf. exercice 8). On peut aussi comparer la moyenne de ce protocole dérivé à 0. On obtient alors $\bar{x} = -6.33$ et $s_e = 6.74$ d’où $t_{obs} = -2.30$. Le résultat n’est pas significatif d’une différence dans le cas d’un test bilatéral au seuil de 5%. Il l’est dans le cas d’un test unilatéral.

On peut comparer les deux conditions “avec bruit” à l’aide d’un test de comparaison de moyennes sur groupes appariés. Le protocole dérivé des différences individuelles a une moyenne de 11.0, et un écart type corrigé de 5.02. D’où $t_{obs} = 5.37$. On conclut donc, au seuil de 5%, que les conditions “avec bruit” ne sont pas équivalentes.

On peut de même comparer les conditions “bruit intermittent” et “témoin”. On obtient alors $t_{obs} = 1.33$, qui n’est pas significatif d’une différence entre les deux conditions

Enoncé 22 Données Craik

Dans une reprise de l’expérience de Craik et Tulving (1975), on désire vérifier l’hypothèse selon laquelle “la profondeur de traitement de l’information” influence la mémorisation. Pour ce faire, on constitue trois groupes de dix sujets. Le premier groupe correspond à la condition “traitement de l’information en profondeur” (i.e., on demande au sujet si le mot présenté est un synonyme de “jeu”). Au second groupe, on demandera un “traitement de l’information acoustique” (i.e., Le mot présenté rime-t-il avec “table”). Le troisième groupe n’effectuera qu’un traitement superficiel (i.e., le mot est-il écrit en majuscules ou minuscules).

Chaque mot est présenté deux fois dans la même condition. On soumet cinquante mots à chaque sujet. On compte pour chaque sujet le nombre de mots retenus après lui avoir demandé de compter “à reculons” de trois en trois à partir de 120 (pourquoi cette dernière précaution ?).

- Combien y a-t-il de variables indépendantes ? de variables dépendantes ? Identifiez-les.
- Comment le chercheur traduira-t-il son “hypothèse de recherche” en hypothèse statistique ?
- Comment traitera-t-il son expérience ?

1) Voici les résultats obtenus (on donne le nombre de mots retenus) ; traitez cette expérience.

G1	29	30	33	33	34	34	36	36	40	40
G2	6	10	10	15	15	15	17	17	18	24
G3	1	1	1	2	3	6	7	7	9	10

2) Répondez aux mêmes questions, mais en admettant qu'une colonne correspond aux résultats d'un même sujet soumis aux différentes conditions.

Réponses :

1) Le tableau d'analyse de variance obtenu est donné par :

Source	ddl	SC	CM	F_{cal}
Groupe	2	4600,27	2300,13	135.39
Résidu	27	458,70	16,99	
Total	29	5058.97		

Le F obtenu est très significatif d'une différence de comportement entre les trois groupes
 2) Remarquez que les données fournies sont fort peu réalistes dans ce cas (il est hautement improbable que les sujets soient rangés exactement dans le même ordre pour les trois conditions expérimentales).

Dans le cas de groupes appareillés (cf. infra d'autres situations de ce genre), la variation intra-groupes se décompose en une variation due aux sujets et un résidu. On obtient le tableau d'analyse de variance suivant :'

Source	ddl	SC	CM	F_{cal}
Groupe	2	4600,27	2300,13	1024.81
Sujet	9	418,30	46.48	
Résidu	18	40.40	2.24	
Total	29	5058.97		

Le F obtenu est évidemment très significatif d'une différence de comportement selon la condition expérimentale.

Plans $S < A * B >$

Enoncé 23 Dossier "Geometrie"

Dans une tâche de dénomination de figures géométriques, l'auteur étudie l'évolution du temps de réaction verbale en fonction de la discriminabilité des figures.

Dans un premier temps, on présente aux sujets une série de figures. Pour la moitié d'entre eux, la série est constituée de 2 figures, pour l'autre moitié, de 4 figures. Dans chacun des cas, la série est constituée soit de figures facilement discriminables (triangle, carré, ...) soit de figures plus complexes (octogone, décagone, ...).

Dans un deuxième temps, on demande à chaque sujet de nommer une figure tirée au hasard dans la série précédente et on mesure le temps de réaction verbale du sujet.

48 sujets répartis en 4 groupes de 12 ont participé à l'expérience.

Les moyennes des temps de réaction mesurés en millisecondes observés sur chacun des quatre groupes sont indiqués dans le tableau suivant :

Incertitude	Discriminabilité	
	Forte	Faible
2 figures	460	510
4 figures	559	864

- 1) Définir la variable dépendante et les variables indépendantes prises en compte. Quel est le plan d'expérience utilisé ?
- 2) Au vu du tableau précédent, indiquer s'il semble y avoir une interaction entre les deux facteurs étudiés. Construire un graphe d'interaction. Commenter ce graphe en rédigeant une phrase exprimant comment se traduit l'effet d'interaction.
- 3) Le tableau d'analyse de variance se présente ainsi :

Sources de var.	ddl	SC	CM	F
Discriminalité	1	3858.3	3858.3	45.06
Incertitude	1	6238.3	6238.3	72,85
Interaction	1	1885.4	1885.4	22,02
Résidu	44	3767.6	85.6	
Total	47	15666.7		

Préciser comment ont été obtenues :

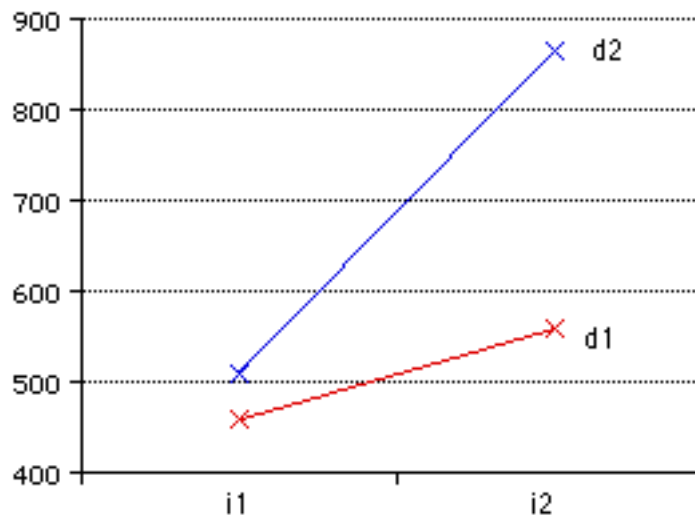
- la valeur 85.6 dans la ligne "résidu" ;
- la valeur 45.06 dans la ligne "discriminalité".

Utiliser la table de la loi de Fisher-Snedecor pour indiquer si les effets principaux et l'effet d'interaction sont significatifs au seuil de 1%.

- 4) Aurait-on pu (au moins partiellement) traiter ces données par des méthodes de comparaison de moyennes ?

Réponses : 1) Le plan utilisé est ici $S_{12} < I_2 * D_2 >$.

2) Le temps de réaction augmente lorsque la discriminabilité est plus faible. Mais cet effet est d'autant plus important que l'incertitude est élevée.



3) $85.6 = \frac{3767.6}{44}$; $45.06 = \frac{3858.3}{85.6}$. Au seuil de 1%, $F_{crit}(1, 44) = 7.2$. Les effets principaux et l'effet d'interaction sont donc significatifs.

4) Les effets principaux auraient pu être facilement étudiés par des méthodes de comparaison de moyennes, puisque les facteurs ne comportent que deux modalités. En revanche, il aurait été difficile d'étudier l'interaction.

Enoncé 24 Données Tulving

On demande aux sujets de mémoriser des listes comportant 12, 24 ou 48 mots (facteur \mathcal{A} , avec trois modalités). Ces mots peuvent se regrouper par paires en catégories (par exemple pomme et orange se regroupent en "fruits"). On demande aux sujets d'apprendre

les mots, et on leur montre le nom des catégories à ce moment en leur précisant qu'ils n'ont pas à apprendre le nom de ces catégories. Au moment de l'épreuve de rappel — qui a lieu immédiatement après l'apprentissage — on crée deux conditions. Dans un cas, on présente aux sujets la liste des catégories. Dans l'autre cas, on ne leur présente pas cette liste (facteur \mathcal{B} : présentation de la liste des catégories au moment de l'apprentissage *versus* absence de présentation). Dans cette reprise d'une expérience de Tulving et Pearlstone (1966), la variable dépendante sera le nombre de mots rappelés. En examinant les deux variables indépendantes, la première (nombre de mots de la liste) est, clairement, triviale : il semble superfétatoire de construire une expérimentation pour montrer que plus une liste de mots est longue, plus on peut en retenir. Cette remarque indique que les auteurs de cette expérience s'intéressaient d'emblée à un effet d'interaction.

On interroge dix sujets par condition expérimentale. Voici les résultats :

Résultats d'une reprise de l'expérience de Tulving et Pearlstone.

	Facteur \mathcal{A} : Nombre de mots par liste					
Facteur \mathcal{B}	a_1 : 12		a_2 : 24		a_3 : 48	
b_1	10	6	13	15	17	16
	8	11	18	13	20	23
	12	10	19	9	22	19
	8	9	13	8	13	20
	7	9	8	14	21	19
b_2	12	10	12	13	31	29
	12	12	20	12	30	32
	7	10	19	13	26	24
	9	7	14	15	29	24
	9	12	16	6	28	27

On peut résumer ces résultats dans une matrice des moyennes :

	Facteur \mathcal{A} : Nombre de mots par liste			
Facteur \mathcal{B}	a_1 : 12	a_2 : 24	a_3 : 48	Marge
b_1 :				
Moyenne	9	13	19	13.47
Total	90	130	190	410
b_2 :				
Moyenne	10	14	28	17.33
Total	100	140	280	520
Marge :				
Moyenne	9.5	13.5	23.5	15.5
Total	190	270	470	930

Avant de commencer les calculs, construire un graphe d'interaction entre les deux variables indépendantes considérées. L'examen de la figure suggère l'existence d'un effet du nombre de mots de la liste, d'un effet de la présentation d'indices lors du rappel, et également d'un effet d'interaction : l'effet facilitateur des indices se manifeste essentiellement pour la liste de grande taille. Les calculs permettent d'évaluer ces effets par une approche inférentielle. Justifier le tableau d'ANOVA suivant :

Source	ddl	SC	CM	F_{cal}	$Pr(F_{cal})$
\mathcal{A}	2	2080.00	1040.00	115,57 **	$< 10^{-10}$
\mathcal{B}	1	201,67	201,67	22,41 **	.000029
\mathcal{AB}	2	213,33	106,67	11,85 **	.000074
$\mathcal{S}(\mathcal{AB})$	54	486.00			
Total	59	2981			

L'analyse de variance permet de mettre en évidence un effet trivial par ailleurs — du nombre de mots de la liste à mémoriser ($F_{cal}(2, 54) = 115.57$; $p < .01$) sur le nombre de mots retenus. La présentation d'indices lors du rappel améliore la performance des sujets ($F_{cal}(1, 54) = 22.41$; $p < .01$). Mais surtout, on note une interaction significative entre les deux Variables Indépendantes ($F_{cal}(2, 54) = 11.85$; $p < .01$). Cette interaction pouvant s'attribuer pour l'essentiel au fait que l'effet facilitateur des indices ne se manifeste que pour les longues listes (48 mots). De ce fait, une expérimentation construite pour montrer l'effet des indices au moment du rappel avec uniquement des listes courtes, ne pourrait — probablement — pas rapporter un effet significatif de ce facteur.

Enoncé 25 Dossier "Eysenck"

Le modèle de la mémorisation proposé par Craik et Lockhart (1972) stipule que le degré auquel un sujet se rappelle un matériel verbal est fonction du degré auquel ce matériel a été traité lors de sa présentation initiale. Eysenck (1974) voulait tester ce modèle et examiner s'il pouvait contribuer à expliquer certaines différences relevées entre des sujets jeunes et âgés concernant leur aptitude à se rappeler du matériel verbal. L'étude qu'il a menée incluait 50 sujets dont l'âge se situait entre 18 et 30 ans et 50 sujets compris dans la tranche d'âge 55–65 ans. Dans chacune des tranches d'âge, Eysenck a réparti les 50 sujets dans cinq groupes. Le premier devait lire une liste de mots et se contenter de compter le nombre de lettres de chacun d'eux. Le deuxième groupe devait lire chaque mot et lui trouver une rime. Le troisième groupe devait donner un adjectif qui aurait pu être utilisé pour modifier chaque mot de la liste. Le quatrième devait essayer de se former une image précise de chaque mot. Aucun de ces quatre groupes ne savait qu'il faudrait se rappeler les mots ultérieurement. Enfin, le cinquième groupe, ou groupe d'apprentissage intentionnel, devait lire la liste et mémoriser tous les mots. Après avoir passé trois fois en revue la liste de 27 mots, les sujets devaient retranscrire tous les mots dont ils se souvenaient. Le nombre de mots rappelés par chacun des 100 sujets est indiqué par le tableau ci-dessous :

	Gr. 1	Gr. 2	Gr. 3	Gr. 4	Gr. 5
Sujets âgés	9	7	11	12	10
	8	9	13	11	19
	6	6	8	16	14
	8	6	6	11	5
	10	6	14	9	10
	4	11	11	23	11
	6	6	13	12	14
	5	3	13	10	15
	7	8	10	19	11
	7	7	11	11	11
Sujets jeunes	8	10	14	20	21
	6	7	11	16	19
	4	8	18	16	17
	6	10	14	15	15
	7	4	13	18	22
	6	7	22	16	16
	5	10	17	20	22
	7	6	16	22	22
	9	7	12	14	18
	7	7	11	19	21

- 1) a) Quelles sont les variables indépendantes (ou facteurs de variation) prises en compte ? Quel est le nombre de niveaux de chacun des facteurs ?
 b) Quelle est la variable dépendante ? Quel est son domaine de variation ?
 c) Ecrire le plan d'expérience correspondant.
- 2) a) On veut étudier chez les sujets âgés s'il existe une différence de performance entre le groupe 2 (traitement syntaxique) et le groupe 3 (traitement sémantique), en faveur de ce dernier. Le calcul permet d'obtenir les résultats de statistiques descriptives suivants :

	Groupe 2	Groupe 3
Moyenne	6.9	11.0
Effectif	10	10
Ecart-type	2.02	2.37
Ecart-type corrigé	2.13	2.49

- b) Etudier de même s'il existe une différence de performance due à l'âge parmi les sujets du groupe 2.
- 3) *Etude de l'interaction entre les facteurs.* Le tableau suivant indique les moyennes observées pour chacune des deux tranches d'âge, dans chacun des groupes.

	Gr. 1	Gr. 2	Gr. 3	Gr. 4	Gr. 5
Sujets âgés	7.0	6.9	11.0	13.4	12.0
Sujets jeunes	6.5	7.6	14.8	17.6	19.3

Réaliser un graphe illustrant une éventuelle interaction entre l'âge et la condition de mémorisation (groupe). Commenter le diagramme ainsi obtenu.

- 4) *Analyse de variance.* Le tableau d'analyse de variance relatif aux données observées se présente ainsi :

Sources de var.	ddl	SC	CM	F
Age	1	240.25	240.25	...
Groupe	4	1514.94	...	...
Age×Groupe	4	190.30	...	...
Résidu	90	722.30	8.026	
Total	99	2667.79		

- a) Compléter ce tableau en calculant les carrés moyens et les statistiques F de Fisher qui sont remplacés par “...” dans le tableau ci-dessus.
- b) Parmi les différentes sources de variation, quelles sont celles qui sont significatives au seuil de 1% ?
- c) Quelles conclusions Eysenck peut-il tirer de cette expérience ?

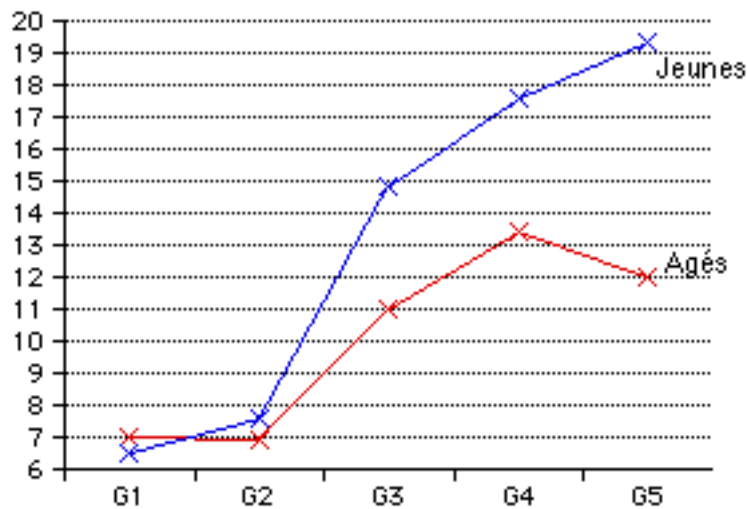
Réponses.

1) Outre le facteur sujet, les facteurs étudiés sont l'âge (2 niveaux), et le groupe expérimental (5 niveaux), selon un plan $S_{10} < G_5 * A_2 >$. La variable dépendante est le nombre de mots retranscrits, son domaine de variation est [0; 27].

2) a) Il s'agit d'une comparaison de moyennes sur deux groupes indépendants. Avec les données fournies, on obtient $t_{obs} = -3.80$ alors que, pour un test bilatéral au seuil de 5%, on obtient $t_{crit} = 2.10$ (ddl = 18). Il existe donc une différence significative entre le traitement syntaxique et le traitement sémantique.

b) Les sujets du groupe 2 forment deux sous-groupes indépendants du point de vue de l'âge. On obtient $t_{obs} = -0.766$. La différence de performance n'est pas significative dans ce cas.

3) Le graphe d'interaction est donné par :



D'après ce graphique, il semble que l'effet de l'âge soit plus marqué lorsque le traitement de l'information est effectué "en profondeur".

4) Le tableau d'ANOVA complet est donné par :

Sources de var.	ddl	SC	CM	F
Age	1	240.25	240.25	29.93
Groupe	4	1514.94	378.74	47.19
Age×Groupe	4	190.30	47.58	5.93
Résidu	90	722.30	8.026	
Total	99	2667.79		

Au seuil de 1%, on a : $F_{crit}(1, 90) = 6.9$; $F_{crit}(4, 90) = 3.5$. Les effets du groupe, de l'âge et l'effet de l'interaction sont donc tous trois significatifs.

Ainsi, les sujets plus jeunes se rappellent davantage d'éléments que les sujets plus âgés. Les tâches impliquant un traitement plus approfondi permettent une mémorisation plus efficace que celles qui impliquent un traitement plus superficiel. Cependant, l'effet significatif de l'interaction montre que les sujets plus âgés ne réalisent pas d'aussi bonnes performances que les plus jeunes dans les tâches qui impliquent un traitement approfondi, mais réalisent des performances pour ainsi dire équivalentes à celles des sujets plus jeunes lorsque la tâche n'implique qu'un traitement réduit.

Enoncé 26 Dossier "Locus"

Un psychologue s'intéresse à la relation entre le sexe (variable X), le statut socio-économique (variable C) et le "locus of control" perçu. Il a pris huit adultes de chaque combinaison sexe-statut socio-économique et leur a administré une échelle portant sur le "locus of control" ; un score élevé indique que le sujet estime contrôler sa vie quotidienne.

	statut socio-économique		
	Bas	Moyen	Elevé
Hommes	10	16	18
	12	12	14
	8	19	17
	14	17	13
	10	15	19
	16	11	15
	15	14	22
	13	10	20
Femmes	8	14	12
	10	10	18
	7	13	14
	9	9	21
	12	17	19
	5	15	17
	8	12	13
	7	8	16

- 1) a) Quelles sont les variables indépendantes (ou facteurs de variation) prises en compte ? Quel est le nombre de niveaux de chacun des facteurs ?
- b) Quelle est la variable dépendante ? Quel est son domaine de variation ?
- c) Ecrire le plan d'expérience correspondant.
- 2) On veut étudier, pour les sujets de statut socio-économique moyen, s'il existe une différence de "locus of control" entre les hommes et les femmes. Réaliser un test de comparaison de moyennes permettant d'apporter une réponse à la question posée (seuil choisi : 5%).
- 3) *Etude de l'interaction entre les facteurs*. Calculer les moyennes des scores observés sur chacun des 6 groupes. Réaliser un graphe illustrant une éventuelle interaction entre le sexe et le statut socio-économique. Commenter le diagramme ainsi obtenu.
- 4) *Analyse de variance*. Le tableau d'analyse de variance relatif aux données observées se présente ainsi :

Sources de var.	ddl	SC	CM	F
Sexe	1	65.33	65.33	...
Statut soc-éco	2	338.67	...	...
$X \times C$	2	18.67	...	...
Résidu	42	355.0	8.45	
Total	47	777.67		

a) Compléter ce tableau en calculant les carrés moyens et les statistiques F de Fisher qui sont remplacés par “...” dans le tableau ci-dessus.

b) Parmi les différentes sources de variation, quelles sont celles qui sont significatives au seuil de 1% ?

5) Quelles conclusions le psychologue peut-il tirer de cette expérience ?

Réponses.

1) On étudie ici les facteurs “sexe” (variable X à deux niveaux) et “statut socio-économique” (variable C à trois niveaux). La variable dépendante est une échelle évaluant le “locus of control” des sujets. Les valeurs observées se situent dans l’intervalle $[5; 22]$. Il s’agit d’un plan $S_8 < X_2 * C_3 >$.

2) Il s’agit d’une comparaison de deux moyennes sur des groupes indépendants. On obtient : $t_{obs} = 1.29$, avec 14 ddl. Pour un test unilatéral au seuil de 5%, $t_{crit} = 1.76$. On conclut donc à une différence selon les sexes.

3) Le tableau d’analyse de variance complété est donné par :

Sources de var.	ddl	SC	CM	F
Sexe	1	65.33	65.33	7.73**
Statut soc-éco	2	338.67	169.33	20.03**
$X \times C$	2	18.67	9.33	1.10 NS
Résidu	42	355.0	8.45	
Total	47	777.67		

On conclut donc à des effets significatifs du sexe et du statut socio-économique sur le “locus of control”. En revanche, il ne semble pas y avoir d’interaction entre ces deux facteurs : chez les femmes, la mesure du “locus of control” fournit des résultats inférieurs à ceux des hommes, et l’amplitude de cette différence est la même, quel que soit le statut socio-économique.

Enoncé 27 Dossier “Multimedia”

Le multimédia offre certaines potentialités pour induire l’imagerie mentale. Selon certains auteurs, on devrait donc s’attendre à une efficacité supérieure du multimédia en termes d’apprentissage, comparativement aux produits traditionnels. Dubois *et al.* (1998) ont mené une expérimentation visant à identifier les effets des différents formats de présentation de l’information sur l’apprentissage d’une langue étrangère.

Ils s’attendaient à ce que les sujets produisent un meilleur rappel lorsque l’information verbale est accompagnée d’une information figurative. En revanche, la simple présence de multiples sources d’informations devrait provoquer un partage de l’attention. On s’attend donc à de moins bonnes performances si la présentation, en ajoutant une simple illustration, ne permet pas d’intégration des informations entre elles.

Pour leur expérience, les auteurs ont utilisé 60 sujets auxquels était proposée une tâche de mémorisation d’un vocabulaire russe. Quatre groupes de 15 sujets ont été constitués selon les quatre modes de présentation de l’information suivants :

- En condition contrôle P_1 , seuls le mot russe et sa traduction étaient donnés ;
- En condition P_2 , une illustration représentant le mot était ajoutée ;
- En conditions P_3 et P_4 , une méthode suscitant une imagerie mentale imposée a été utilisée, selon la technique du mot-clé. La phrase contenant ce mot-clé était présentée de façon uniquement orale en P_3 , et à l'écrit sur l'écran en P_4 .

Le rappel du vocabulaire consistait à présenter aux sujets un mot russe pour lequel ils devaient trouver et écrire la traduction. Au sein de chaque groupe, trois sous-groupes homogènes ont été constitués, selon le mode de rappel utilisé ; le mot est donné :

- soit seulement à l'écrit (rappel visuel Rv),
- soit seulement à l'oral (rappel auditif Ra)
- soit à l'écrit et à l'oral (rappel audiovisuel Rav).

La performance des sujets est mesurée par le nombre de traductions correctes fournies (score de 0 à 19).

Dans une reprise de cette expérience, les résultats observés sont les suivants :

	P_1	P_2	P_3	P_4
Rv	0	0	0	2
	2	3	0	0
	4	8	0	1
	6	6	0	6
	0	6	3	8
Ra	7	1	10	4
	6	4	13	7
	3	8	17	8
	0	4	15	9
	3	6	18	13
Rav	5	0	4	4
	12	5	7	12
	7	2	15	5
	10	0	12	10
	7	3	14	9

- 1) a) Quelles sont les variables indépendantes (ou facteurs de variation) prises en compte ? Quel est le nombre de niveaux de chacun des facteurs ?
 - b) Quelle est la variable dépendante ?
 - c) Ecrire le plan d'expérience correspondant.
 - 2) a) Calculer les moyennes correspondant aux 12 conditions expérimentales définies par les combinaisons des variables \mathcal{P} et \mathcal{R} .
 - b) Réaliser un graphe illustrant une éventuelle interaction entre les variables \mathcal{P} et \mathcal{R} .
 - 3) *Analyse de variance.*
- Le tableau d'analyse de variance relatif aux données observées se présente ainsi :

Sources de var.	ddl	SC	CM	F
\mathcal{P}	3	198.6	66.2	...
\mathcal{R}	2	301.9	...	...
$\mathcal{P} \times \mathcal{R}$	6	402.1	...	...
Résidu	48	446.8	9.31	
Total	59	1349		

a) Compléter ce tableau en calculant les carrés moyens et les statistiques F de Fisher qui sont remplacés par “...” dans le tableau ci-dessus.

b) En utilisant un seuil de 5%, répondre aux questions suivantes :

- La variable “mode de présentation” a-t-elle un effet ?
- La variable “mode de rappel” a-t-elle un effet ?
- L’interaction entre ces variables est-elle significative ?

4) Comparaisons de moyennes

On donne les résultats intermédiaires suivants :

	Rv	Ra	Rav
$\sum x_i$	55	156	143
$\sum x_i^2$	315	1722	1401
Moyenne	2.75	7.8	7.15
Var. corrigée	8.61842	26.5895	19.9237

a) Sans tenir compte des modalités de la variable \mathcal{P} , effectuer un test de comparaison de deux moyennes visant à montrer que les 20 sujets soumis à la modalité Rav obtiennent de meilleurs résultats que ceux soumis à la modalité Rv .

b) Comparer de même les sujets soumis à la modalité Ra à ceux soumis à la modalité Rv .

5) A partir des données et des éléments d’étude développés ci-dessus, justifier les conclusions suivantes formulées par les auteurs :

“On constate l’influence de certaines modalités de présentation de l’information sur la mémorisation. (...) L’ajout d’une image à un corpus sonore et textuel peut constituer une aide notable pour les sujets sous certaines conditions.”

“La quantité d’information à traiter par le sujet n’apparaît pas induire de partage attentionnel limitant les effets d’apprentissage selon l’hypothèse de surcharge cognitive dès lors que les différentes sources d’information sont intégrées.”

“Pour les trois situations de rappel, le résultat le plus intéressant à noter est la moindre performance en situation uniquement visuelle.”

“Dans la situation de rappel auditif, on observe d’une manière générale un meilleur apprentissage lorsque les informations sont intégrées sous forme auditive.”

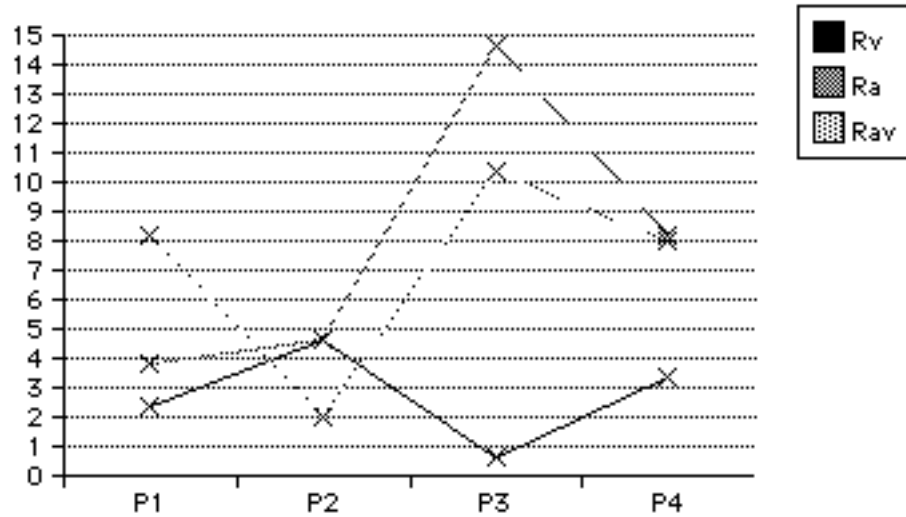
Réponses.

1) Outre le facteur sujet, les facteurs étudiés sont le mode de présentation de l’information (facteur \mathcal{P} à 4 niveaux notés P_1, P_2, P_3 et P_4) et le mode de rappel (facteur \mathcal{R} à trois niveaux notés R_v, R_a et R_{av}). La variable dépendante est le nombre de traductions correctes fournies. L’expérience a été menée selon le plan : $\mathcal{S}_5 < \mathcal{P}_4 * \mathcal{R}_3 >$.

2) Les moyennes correspondant aux 12 conditions expérimentales sont données par :

	P_1	P_2	P_3	P_4
R_v	2.4	4.6	0.6	3.4
R_a	3.8	4.6	14.6	8.2
R_{av}	8.2	2	10.4	8

Le graphe d'interaction a l'allure suivante :



3) Le tableau d'analyse de variance complété donne :

Sources de var.	ddl	SC	CM	F
\mathcal{P}	3	198.6	66.2	7.11
\mathcal{R}	2	301.9	150.95	16.21
$\mathcal{P} \times \mathcal{R}$	6	402.1	67.02	7.20
Résidu	48	446.8	9.31	
Total	59	1349		

Pour le facteur \mathcal{P} , les nombres de degrés de liberté à prendre en compte sont $ddl_1 = 3$ et $ddl_2 = 48$. Au seuil de 5%, la table du F de Fisher donne $F_{crit} = 2.84$. L'effet du facteur \mathcal{P} est donc significatif.

Pour le facteur \mathcal{R} , les nombres de degrés de liberté à prendre en compte sont $ddl_1 = 2$ et $ddl_2 = 48$. Au seuil de 5%, la table du F de Fisher donne $F_{crit} = 3.23$. L'effet du facteur \mathcal{R} est donc significatif.

Pour l'interaction $\mathcal{P} \times \mathcal{R}$, les nombres de degrés de liberté à prendre en compte sont $ddl_1 = 6$ et $ddl_2 = 48$. Au seuil de 5%, la table du F de Fisher donne $F_{crit} = 2.34$. L'effet d'interaction est donc significatif.

4) a) Il s'agit ici d'une comparaison de moyennes sur deux groupes indépendants. On obtient, en utilisant les résultats fournis, $t_{obs} = 3.68$. Ici, $ddl = 38$; pour un seuil de 5% unilatéral, la table du T de Student donne $t_{crit} = 1.686$. On obtient donc de meilleurs résultats en modalité R_{av} qu'en modalité R_v .

b) La méthode est identique. On obtient ici $t_{obs} = 3.81$ et une conclusion analogue.

5) On a montré un effet du facteur \mathcal{P} , ce qui justifie en partie la première phrase de conclusion. Une étude complémentaire devrait montrer que les différences constatées entre les 4 présentations se font au bénéfice de P_2 et P_4 .

La deuxième phrase reprend l'une des hypothèses de recherche. Les moins bonnes performances ont effectivement été observées lorsque l'illustration est simplement ajoutée, alors que la situation P_4 , dans laquelle l'illustration est intégrée aux autres sources conduit à des résultats généralement supérieurs à ceux de la situation contrôle.

La troisième phrase fait référence aux conclusions trouvées dans la question 4 : nous y avons montré que la modalité R_v obtenait des résultats inférieurs à chacune des deux autres modalités.

La dernière phrase traduit l'interaction entre les facteurs \mathcal{P} et \mathcal{R} . C'est effectivement le groupe soumis à P_3 et R_a qui obtient le meilleur résultat absolu.