

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
<i>O</i>	1	0.8	0.8	0.018	0.89
<i>S < O ></i>	8	357	44.6		
<i>M</i>	1	320	320	15.2	0.0045
<i>Interaction</i>	1	64.8	64.8	3.08	0.11
<i>Résidu</i>	8	168.2	21.02		
<i>Total</i>	19	910.8			

Plans $S * A$

Enoncé 25 *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 26 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 ordinaire 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 ordinaire (prédiction qui traduit simplement l'effet de l'inhibition proactive...).

Voici les résultats:

Sujet	Position ordinaire 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 27 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 13). On peut aussi comparer la moyenne de ce protocole dérivé à 0. On obtient alors $\bar{x} = -6.33$ et $s_c = 6.74$ 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 28 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 appariés (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 29** Dossier "Géométrie"

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	Discriminalité	
	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".

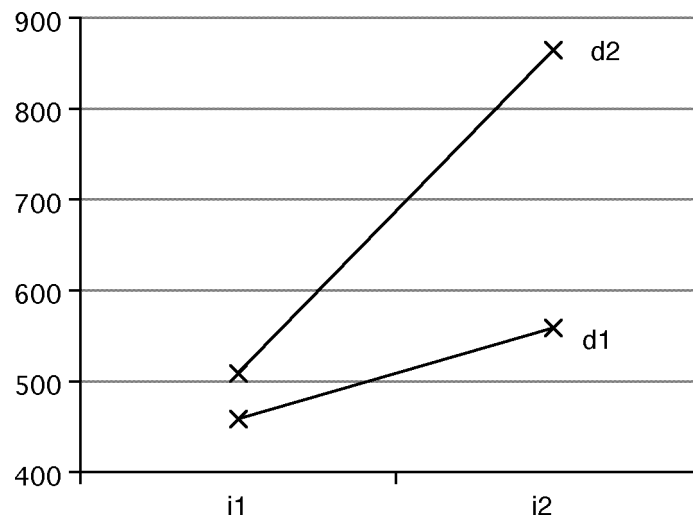
Utiliser la table de la loi de Fisher-Snedecor pour indiquer si les effets principaux et l'effet d'interaction sont significatifs au seuil de 1%.

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 30 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 31 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 "...".

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 ?

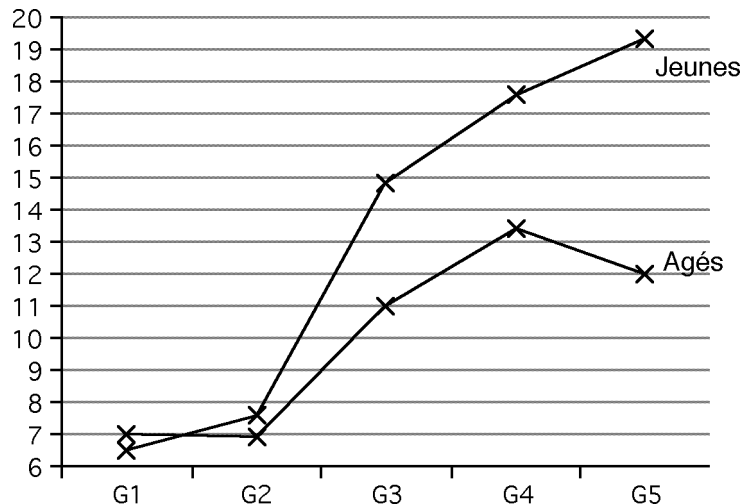
Réponses.

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 32 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 33 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 :

	R_v	R_a	R_{av}
$\sum x_i$	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 R_{av} obtiennent de meilleurs résultats que ceux soumis à la modalité R_v .

b) Comparer de même les sujets soumis à la modalité R_a à ceux soumis à la modalité R_v .

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.”

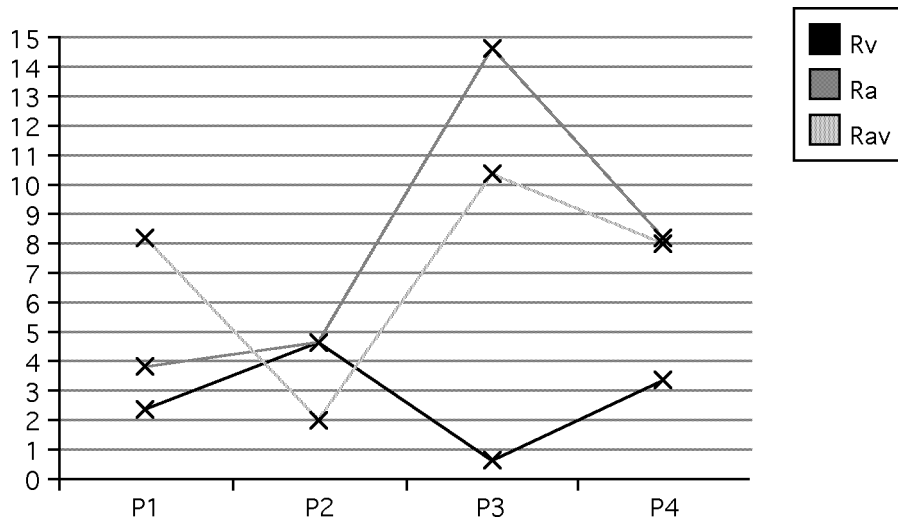
Réponses.

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.

Plans $\mathcal{S} < \mathcal{A} > * \mathcal{B}$

Enoncé 34 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 mnémonique (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".

Résultats de l'expérience			
	a_1b_1	a_1b_2	Somme
s_1	15	14	29
s_2	23	20	43
s_3	12	11	23
s_4	16	17	33
s_5	14	13	27
	80	75	155
	a_2b_1	a_2b_2	Somme
s_6	40	33	73
s_7	38	23	61
s_8	31	21	52
s_9	36	26	62
s_{10}	30	22	52
	175	125	300
	255	200	455

Calcul en 13 points

$$\begin{aligned}
 Q1 &= 15 + \dots + 22 = 455 \\
 Q2 &= 15^2 + \dots + 22^2 = 11945 \\
 Q3 &= (155^2 + 300^2)/10 = 11402.5 \\
 Q4 &= (255^2 + 200^2)/10 = 10502.5 \\
 Q5 &= (80^2 + \dots + 125^2)/5 = 11655 \\
 Q6 &= (29^2 + \dots + 52^2)/2 = 11669.5 \\
 Q7 &= 455^2/20 = 10351.25 \\
 Q8 &= SC_A = Q3 - Q7 = 1051.25 \\
 Q9 &= SC_B = Q4 - Q7 = 151.25 \\
 Q10 &= SC_{S(A)} = Q6 - Q3 = 267 \\
 Q11 &= SC_{AB} = Q5 - Q3 - Q4 + Q7 = 101.15 \\
 Q12 &= SC_{BS(A)} = Q2 - Q5 - Q6 + Q3 = 23 \\
 Q13 &= SC_{total} = Q2 - Q7 = 1593.75
 \end{aligned}$$

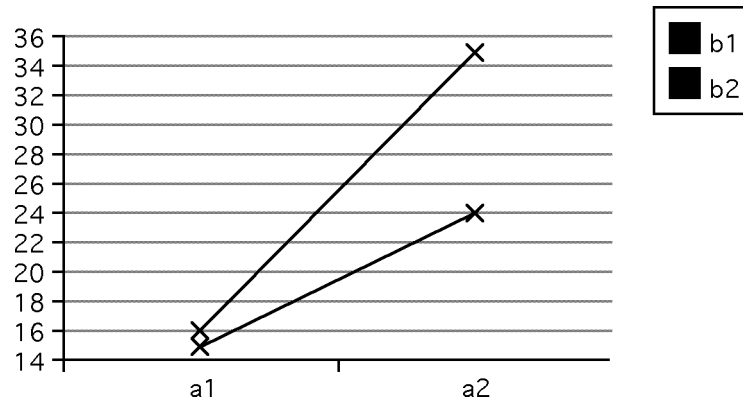
Source	ddl	SC	CM	F_{cal}	$Pr(F_{cal})$
<i>Entre les sujets</i>					
A	1	1051.25	1051.25	31.5 **	.00050
$S(A)$	8	267.00	33.38	—	
<i>Dans les sujets</i>					
B	1	151.25	151.25	52.6 **	.00009
AB	1	101.25	101.25	35.2 **	.00035
$BS(A)$	8	23.00	2.86	—	
Total	19	1593.75			
<i>ns</i> : suspension du jugement au seuil .05 *: p inférieur à .05; **: p inférieur à .01.					

Ainsi, les prédictions de Conrad se réalisent. On note un effet principal attribuable à l'âge ($F_{cal}(1,8) = 31.5$; p inférieur à .01), une interaction entre l'âge et la ressemblance acoustique ($F_{cal}(1,8) = 35.2$; p inférieur à .01). On obtient également un effet principal

de la ressemblance $F_{cal}(1, 8) = 52.6$, p inférieur à .01), mais cet effet est d'interprétation délicate du fait de l'interaction.

Retrouver les résultats précédents à l'aide de méthodes de comparaison de moyennes sur des protocoles dérivés convenablement choisis.

Représenter graphiquement l'interaction entre les deux facteurs.



Le résultat concernant l'âge peut être retrouvé à l'aide d'un test de comparaison de moyennes sur deux groupes indépendants, en utilisant le protocole dérivé des sommes ou des moyennes par sujet.

Le résultat relatif à l'interaction peut être retrouvé en construisant le protocole des différences individuelles et en faisant une comparaison des moyennes de ce protocole sur les deux groupes.

Enoncé 35 Données Bahrick

Dans une reprise partielle d'une expérimentation de Bahrick (1984), on demande à dix sujets (cinq étudiants et cinq étudiantes) de participer à l'expérience suivante :

On montre aux sujets vingt portraits en noir et blanc (composés de dix portraits d'hommes et dix portraits de femmes). On demande aux sujets d'essayer de "mémoriser" ces vingt portraits afin de pouvoir les reconnaître lors d'un test ultérieur. Les sujets accomplissent ensuite pendant environ une demi-heure diverses tâches. Puis on leur présente vingt paires de photographies composées d'un portrait vu pendant la phase d'apprentissage et d'un portrait inconnu des sujets; et on leur demande d'identifier dans chaque paire de photographies le portrait connu.

On donne ci-dessous le nombre de portraits correctement identifiés en fonction des sujets et du "sexe" des portraits. (Les sujets sont identifiés par un prénom).

Nom du sujet	Portrait masculin	Portrait féminin
Albert	6	6
Henri	6	6
Jules	5	5
Paul	5	5
Octave	5	6
Albertine	6	8
Henriette	7	8
Julie	6	6
Paule	7	7
Octavie	6	6

Indications de solution. L'expérience est menée selon le plan $S_5 < X_2 > *P_2$. Le tableau d'analyse de variance est donné par :

Source	ddl	SC	CM	F_{cal}	$Pr(F_{cal})$
<i>Entre les sujets</i>					
\mathcal{X}	1	7.2	7.2	10.28 *	.0124
$S(\mathcal{X})$	8	5.6	0.7	—	
<i>Dans les sujets</i>					
\mathcal{P}	1	0.8	0.8	3.2 NS	.11
\mathcal{XP}	1	0.2	0.2	0.8 NS	.40
$\mathcal{PS}(\mathcal{X})$	8	2	0.25	—	
Total	19	15.8			
<i>ns : suspension du jugement au seuil .05</i>					
<i>* : p inférieur à .05; ** : p inférieur à .01.</i>					

Enoncé 36 Dossier “King”

En 1986, King a étudié l'activité motrice chez le rat après injection d'un médicament appelé midazolam. La première injection du médicament entraîne généralement une diminution nette de l'activité motrice. Mais une certaine tolérance se développe rapidement. King souhaitait savoir si cette tolérance acquise pouvait s'expliquer sur la base d'une tolérance conditionnée.

Il a utilisé trois groupes et n'a recueilli les données (présentées dans le tableau ci-dessous) que le dernier jour, jour du test. Durant le pré-test, deux groupes d'animaux ont reçu à plusieurs reprises des injections de midazolam réparties sur plusieurs jours, tandis que le groupe témoin recevait des injections d'une solution saline physiologique.

Le jour du test, un groupe (le groupe “même”) a reçu une injection de midazolam dans le même environnement qu'auparavant. Le groupe “différent” a également reçu une injection de midazolam, mais dans un environnement différent. Enfin, le groupe témoin a reçu, pour la première fois, une injection de midazolam. Ce groupe témoin devrait donc manifester la réaction initiale classique au médicament (comportement ambulateur réduit), tandis que le groupe “même” devrait présenter l'effet normal de tolérance. Par contre, si King a raison, le groupe “différent” devrait réagir de la même façon que le groupe témoin; en effet, ces animaux allaient cette fois recevoir l'injection dans un environnement différent, et les éléments nécessaires pour susciter une tolérance conditionnée ne seraient pas présents. La variable dépendante du tableau ci-dessous est une mesure du comportement ambulateur, en unités arbitraires.

Comme le médicament se métabolise sur une période d'environ 1 heure, King a enregistré ses données par blocs (ou intervalles) de 5 minutes. Le tableau 13 donne les valeurs observées pour les 6 premiers blocs de données.

	Intervalles					
	1	2	3	4	5	6
Témoin	150	44	71	59	132	74
	335	270	156	160	118	230
	149	52	91	115	43	154
	159	31	127	212	71	224
	159	0	35	75	71	34
	292	125	184	246	225	170
	297	187	66	96	209	74
	170	37	42	66	114	81
Même	346	175	177	192	239	140
	426	329	236	76	102	232
	359	238	183	123	183	30
	272	60	82	85	101	98
	200	271	263	216	241	227
	366	291	263	144	220	180
	371	364	270	308	219	267
	497	402	294	216	284	255
Différent	282	186	225	134	189	169
	317	31	85	120	131	205
	362	104	144	114	115	127
	338	132	91	77	108	169
	263	94	141	142	120	195
	138	38	16	95	39	55
	329	62	62	6	93	67
	292	139	104	184	193	122

Tableau 13: Données King

- 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 18 conditions expérimentales définies par les combinaisons des variables "groupe" et "intervalle".
 - b) Réaliser un graphe illustrant une éventuelle interaction entre ces variables. Commenter le graphe obtenu.
 - 3) *Analyse de variance.*
- Le tableau d'analyse de variance relatif aux données observées se présente ainsi :

Sources de var.	ddl	SC	CM	F
<i>Entre les sujets</i>				
Groupes	2	285815	142907	...
$\mathcal{S}(\mathcal{G})$	21	384722	18320	
<i>Dans les sujets</i>				
Intervalles	5	399736	...	...
$\mathcal{I} \times \mathcal{G}$	10	80820	...	...
Résidu	105	281199	2678	
Total	143	1432293		

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%, étudier quelles sont les sources de variation dont l’effet est significatif.

4) Comparaisons de moyennes

a) Déterminer le protocole dérivé obtenu en calculant le score moyen observé sur les intervalles 2 à 6 pour chacun des sujets des groupes “témoin” et “différent”.

b) Comparer le comportement des deux groupes à l’aide d’un test sur les moyennes de ce protocole dérivé.

Enoncé 37 Dossier “Termites”

Dans une étude expérimentale (d’après Catherine Venturelli: la dynamique du creusement chez *Reticulitermes santonensis*, 1990), on étudie le comportement de creusement de 72 groupes de termites (d’où le facteur groupe G à 72 modalités). Chaque groupe comprend 50 termites. Ces 72 groupes sont répartis dans 12 conditions expérimentales différentes; d’où le facteur Condition C à 12 modalités. A chacune des conditions expérimentales on affecte 6 groupes, chacun des 72 groupes étant affecté à une seule condition expérimentale. Pour chaque groupe on observe le nombre de centimètres de galeries creusés par le groupe en 12 heures. L’expérience se déroule sur 15 jours, avec 2 relevés par jour correspondant à deux périodes d’activité: un relevé le soir, où l’on observe le nombre de centimètres creusés pendant la journée (période p1), un relevé le matin, où l’on observe le nombre de centimètres creusés pendant la nuit (période p2). D’où le facteur Jour J à 15 modalités et le facteur Période d’activité P à 2 modalités (p1 et p2).

Les données suivantes concernent une partie des observations, les résultats de 12 groupes de termites. Six groupes ont été placés dans du sable humide (h1), 6 groupes dans du sable peu humide (h2). D’où le facteur Humidité à 2 modalités. Il s’agit des deux relevés (p1 et p2) du premier jour.

Données “Termites” et protocoles dérivés

		p1	p2	p2-p1	(p1+p2)/2
G(h1) humide	g1	0.0	48.80	48.80	24.40
	g2	36.5	79.3	42.80	57.90
	g3	16.2	46.3	30.10	31.25
	g4	17.8	69.3	51.50	43.55
	g5	34.4	96.8	62.40	65.60
	g6	29.4	81.2	51.80	55.30
	g7	0.0	0.0	0.00	0.00
G(h2) peu humide	g8	9.8	51.0	41.20	30.40
	g9	9.4	64.0	54.60	36.70
	g10	13.1	76.9	63.80	45.00
	g11	2.2	30.7	28.50	16.45
	g12	4.4	7.3	2.90	5.85

Moyennes

	p1	p2
h1	22,38	70,28
h2	6,48	38,32

Effets intra

H*P	p1 (jour)	p2 (nuit)	diff p1,p2
h1 (humide)	22,38	70,28	-47,90
h2 (peu humide)	6,48	38,32	-31,84
diff h1,h2	15,90	31,96	-16,06

- 1) En moyenne, jour et nuit confondus, les termites creusent-ils plus en sable humide ou en sable peu humide?
- 2) Le jour, les termites creusent-ils plus en sable humide ou en sable peu humide?
- 3) Les termites creusent-ils plus la nuit que le jour?
- 4) Lorsqu'ils sont placés en sable peu humide, les termites sont-ils influencés par le jour et la nuit?
- 5) La différence entre le jour et la nuit est-elle la même, quelle que soit l'humidité du sable?

Indications de solutions.

Les données fournies correspondent au plan d'expérience $S_6 < H_2 > *P_2$.

1) On raisonne ici sur le protocole dérivé des moyennes par individu. Au niveau descriptif: $\bar{x}_1 = 46.33$, $\bar{x}_2 = 22.4$, $s_{c,1} = 16.1352$, $s_{c,2} = 17.8343$. Les termites semblent creuser plus en condition H_1 qu'en condition H_2 .

Un test de comparaison de deux moyennes sur des groupes indépendants donne: $t_{obs} = 2.43$, et $ddl = 10$, valeur significative au seuil de 5% unilatéral.

2) On procède ici comme dans la question précédente, mais en utilisant la première colonne de données. On obtient: $\bar{x}_1 = 22.38$, $\bar{x}_2 = 6.48$, $s_{c,1} = 13.8070$, $s_{c,2} = 5.0598$. $t_{obs} = 2.65$, et $ddl = 10$, valeur significative au seuil de 5% unilatéral.

Un autre paramètre descriptif intéressant est l'effet calibré du facteur H défini par:

$$EC = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{s_{1,c}^2 + s_{2,c}^2}} = 1.08. \text{ Un écart calibré supérieur à 1 indique un effet important.}$$

3) On utilise ici le protocole dérivé des effets individuels (colonne des différences). On a : $\bar{d} = 39.87$ et $s_c = 20.99$. Une comparaison de moyennes sur deux groupes appariés donne : $t_{obs} = 6.57$ et $ddl = 11$, valeur significative au seuil de 5% unilatéral.

4) On procède comme dans la question précédente, en se limitant aux individus statistiques du deuxième groupe. On a : $\bar{d} = 31.83$ et $s_c = 26.42$. Une comparaison de moyennes sur deux groupes appariés donne : $t_{obs} = 2.95$ et $ddl = 5$, valeur significative au seuil de 5% unilatéral.

5) Il s'agit ici d'étudier l'interaction entre le facteur P et le facteur H . On pourra tracer un diagramme d'interaction à partir du tableau des moyennes donné dans l'énoncé.

On obtient : $Moy((P_2 - P_1)/H_1) = 47.90$, $s_{c,1} = 10.79$, $Moy((P_2 - P_1)/H_2) = 31.83$, $s_{c,2} = 26.42$. On peut aussi calculer l'effet calibré (cf. question 2). Ici, $EC = 0.563$, ce qui est assez faible.

Une comparaison de moyennes sur les deux groupes correspondant aux modalités h_1 et h_2 du facteur H donne : $t_{obs} = 1.38$, valeur non significative aux seuils traditionnels.

Remarque. Le tableau d'analyse de variance est ici le suivant :

Source	ddl	SC	CM	F_{cal}	Pr
H	1	3437	3437	5.94	.035
$S < H >$	10	5784	578.4		
P	1	9536	9536	46.84	.00005
Interaction	1	387.2	387.2	1.90	.20
Résidu	10	2036	203.6		
Total	23	21180			

On retrouve ainsi les résultats des questions 1, 3 et 5, en remarquant que $F_{cal} = t_{obs}^2$.

En particulier, $t_{obs} = 2.43$ correspond à $F_{cal} = 5.94$ (question 1), tandis que $t_{obs} = 1.38$ correspond à $F_{cal} = 1.90$ (question 5).

Autres plans

Enoncé 38 Dossier "Neglige"

Une recherche a porté sur la "pseudo-négligence" qu'on observe chez des sujets normaux. Ce nom provient des similarités qu'elle présente avec l'héminégligence (atteinte de la moitié du champ visuel) de sujets atteints d'une lésion cérébrale. La tâche des sujets consiste à déterminer le milieu subjectif d'une baguette de 24cm avec la seule aide d'informations kinesthésiques. La pseudo-négligence se traduit par une déviation systématique vers la droite (pour les droitiers) de ce milieu subjectif par rapport au milieu objectif de la baguette.

Les données portent sur 24 femmes droitrières (facteur S) réparties selon 2 conditions (12 sujets pour chacune): active (c1) où le sujet peut librement déplacer son doigt posé sur un curseur mobile le long de la baguette; ou passive (c2) où le sujet commande un moteur déclenchant le mouvement de la baguette dans un sens ou dans l'autre, alors que son doigt ne bouge pas (facteur C). Chaque sujet exécute cette tâche dans 6 situations expérimentales obtenues par le croisement de la main utilisée, gauche (m1) ou droite (m2) et l'orientation du regard, 30° à gauche (o1), 0° (o2) ou 30° à droite (o3) (facteurs M et O). Pour chaque sujet et chaque situation on mesure la déviation en cm entre le milieu

subjectif et le milieu objectif de la baguette. Une déviation à droite est notée par une valeur positive, à gauche par une valeur négative.

L'objectif principal de l'expérience est l'étude de l'effet de la condition sur la déviation, et des possibles variations de cet effet selon l'orientation.

Les données sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Données "Négligence" et protocoles dérivés (PD1 à PD3)

	m1o1	m1o2	m1o3	m2o1	m2o2	m2o3	PD1	PD2	PD3
s1c1	1.95	0.95	0.55	0.15	-0.80	-0.65	0.36	1.80	1.58
s2c1	3.00	3.10	1.55	-0.10	-0.30	-0.60	1.11	3.10	2.88
s3c1	1.00	1.20	-0.65	-1.25	-2.20	-2.15	-0.68	2.25	2.38
s4c1	0.25	0.20	0.85	-0.85	0.05	-0.05	0.08	1.10	0.72
s5c1	1.15	0.55	0.95	-0.10	-0.40	-1.95	0.03	1.25	1.70
s6c1	1.85	0.75	-1.65	-0.35	0.15	-0.35	0.07	2.20	0.50
s7c1	2.05	1.75	-1.50	1.05	0.05	-0.90	0.42	1.00	0.70
s8c1	1.75	-0.50	0.25	-0.25	-0.05	0.90	0.35	2.00	0.30
s9c1	0.40	1.85	-0.10	-0.45	-0.40	-1.05	0.04	0.85	1.35
s10c1	-0.80	4.10	3.00	-1.15	-0.20	-2.25	0.45	0.35	3.30
s11c1	2.50	-0.75	0.30	0.20	-1.25	-1.20	-0.03	2.30	1.43
s12c1	1.80	1.65	0.55	1.00	-1.00	1.30	0.88	0.80	0.90
s13c2	-0.30	-0.10	-0.55	1.30	-1.90	0.75	-0.13	-1.60	-0.37
s14c2	1.40	-1.00	0.95	-0.20	0.00	-0.50	0.11	1.60	0.68
s15c2	0.25	0.75	-0.70	0.75	0.55	0.60	0.37	-0.50	-0.53
s16c2	0.75	1.10	1.40	0.25	-1.55	0.05	0.33	0.50	1.50
s17c2	-0.30	-0.70	-0.80	0.85	-0.10	-1.15	-0.37	-1.15	-0.47
s18c2	-2.10	3.45	-1.85	0.95	1.50	2.80	0.79	-3.05	-1.92
s19c2	1.85	-0.55	2.25	-0.05	1.55	-0.30	0.79	1.90	0.78
s20c2	1.65	-0.75	0.05	-0.60	-1.55	-1.75	-0.49	2.25	1.62
s21c2	-0.75	1.25	-0.25	-0.20	-0.05	2.35	0.39	-0.55	-0.62
s22c2	1.80	1.15	1.95	0.80	0.85	0.90	1.24	1.00	0.78
s23c2	-0.95	0.15	0.80	-0.15	-0.30	-1.05	-0.25	-0.80	0.50
s24c2	0.20	-0.45	-0.80	0.65	2.20	-0.10	0.28	-0.45	-1.27

Réf: Chokron, Imbert (1993) - *Egocentric reference and asymmetric perception of space. Neuropsychologia* 31, 3, 267-275. D'après J.M. Bernard (1994) - *Structure des données, données planifiées Mathématiques, Informatique et Sciences humaines n°126* 7-18.

1) a) Pour chacun des 4 cas ci-dessous, écrire au moyen des symboles $\langle \rangle$ et * la relation entre les deux facteurs S et C ; M et O ; C et M ; C et O.

b) Ecrire au moyen des mêmes symboles la relation entre les trois facteurs S, M et O.

2) a) On calcule la moyenne de toutes les valeurs observées. On trouve 0.256. Que signifie cette valeur. Que peut-on en conclure?

b) On s'intéresse aux effets moyens et intra du facteur C.

	m1	m2	Moyennes
c1	+0.996	-0.483	0.256
c2	+0.285	+0.226	0.256
Moyennes	0.640	-0.128	0.256

Commenter l'effet moyen du facteur C.

Commenter l'effet observé du facteur C lorsque c'est la main gauche (m1) qui est utilisée.

Calculer la valeur de cet effet

Construire un graphe représentant l'interaction entre les facteurs C et M.

3) Les trois dernières colonnes du tableau général (PD1 à PD3) indiquent trois protocoles pouvant être dérivés du protocole de base. Indiquer, pour chacun des effets ci-dessous, quel est le protocole dérivé pertinent et indiquer quel calcul a permis d'obtenir la première valeur de ce protocole dérivé:

Effet de C ; effet de M ; effet de M.C ; effet de M/o1 .

4) On s'intéresse à l'effet de la condition (C) avec la main gauche (m1) et avec l'orientation o2. Le protocole dérivé pertinent est la deuxième colonne du tableau principal (m1o2).

A l'aide d'un test de comparaison de moyennes, déterminer si cet effet est significatif.

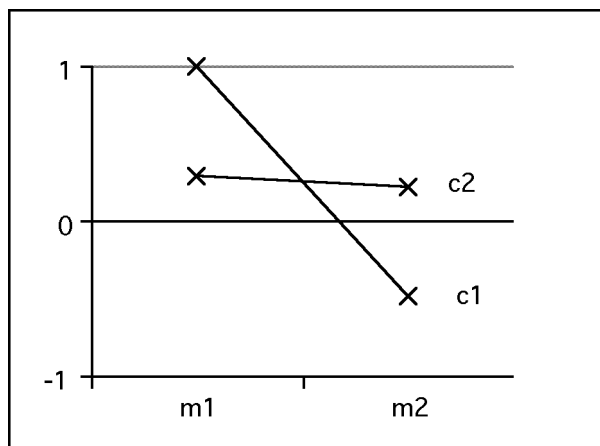
Réponses : 1) a)

<i>S et C</i>	<i>S<C></i>
<i>M et O</i>	<i>M*O</i>
<i>C et M</i>	<i>C*M</i>
<i>C et O</i>	<i>C*O</i>

1) b) Entre S, M et O : $S*M*O$.

2) a) La moyenne générale représente l'effet de la pseudo-négligence, indépendamment des effets des autres facteurs.

b) L'effet moyen du facteur C est nul. En revanche, l'effet observé du facteur C dans la modalité m1 est $0.996 - 0.285 = 0.711$. Le graphe d'interaction pourra être représenté par :



c)

	PD	Calcul
Effet de C	PD1	$(1.95 + 0.95 + 0.55 + 0.15 - 0.80 - 0.65)/6$
Effet de M	PD3	$(1.95 + 0.95 + 0.55)/3 - (0.15 - 0.8 - 0.65)/3$
Effet de M.C	PD3	id.
Effet de M/o1	PD2	$1.95 - 0.15$

3) Il s'agit d'une comparaison de moyennes sur groupes indépendants. On obtient les résultats suivants :

	Moyenne	écart type	écart type cor.
c1	1.238	1.333	1.392
c2	0.358	1.211	1.265

$t_{obs} = 1.6191$ et $ddl = 22$. Au seuil de 5%, la différence n'est pas significative.

Il s'agit ici d'un plan $S < C_2 > * M_2 * O_3$. Les éléments vus en cours ne permettent pas de prévoir la structure du tableau d'analyse de variance, qui est ici assez complexe :

Source	ddl	SC	CM	F_{cal}	Pr
C_2	1	0.000	0.000	0.00	0.997
$S(C_2)$	22	31.658	1.439		
M_2	1	21.275	21.275	13.50	0.001
$C_2 \times M_2$	1	18.169	18.169	11.53	0.003
$M_2 \times S(C_2)$	22	34.677	1.576		
O_3	2	5.342	2.671	2.25	0.118
$C_2 \times O_3$	2	3.236	1.618	1.36	0.267
$O_3 \times S(C_2)$	44	52.348	1.190		
$M_2 \times O_3$	2	1.357	0.678	0.57	0.571
$C_2 \times M_2 \times O_3$	2	0.495	0.248	0.21	0.814
Résidu	44	52.586	1.195		
Total	143	221.142			

Ce tableau peut être obtenu à l'aide de Minitab. On saisit les données, à raison d'une colonne pour chaque facteur et d'une colonne pour la variable dépendante. Ces colonnes sont nommées "Sujet", "Condition", "Main", "Orientation". On utilise le menu Stats - Anova - Modèle linéaire généralisé. On complète ensuite le dialogue en indiquant dans la zone d'édition "Modèle" :

```
Condition Sujet(Condition) Main Main*Condition Main*Sujet(Condition)
Orientation Orientation*Condition Orientation*Sujet(Condition)
Main*Orientation Main*Orientation*Condition
```

et en indiquant **Sujet** comme facteur aléatoire.

Ce tableau ne fait d'ailleurs que confirmer ce que nous avons établi par ailleurs : seuls le facteur "Main" et l'interaction "Main \times Condition" ont des effets significatifs.

Enoncé 39 Dossier "Tapping"

Une tâche de "Tapping" consiste à demander à des sujets droitiers d'appuyer avec l'index sur un bouton le plus rapidement possible durant une période limitée (20s). On note le nombre d'appuis effectués durant cette période. Huit garçons (sexe 1) et huit filles (sexe 2) ont passé une expérience dans laquelle on comparait les performances selon que la tâche était effectuée avec la main gauche (m1) ou avec la main droite (m2), et selon que les sujets avaient à résoudre une tâche concurrente (c1) ou non (c2). Chaque sujet est confronté à chacune des 4 conditions définies par le croisement des facteurs M et C. Les données présentées dans le tableau 14 correspondent à la moyenne des performances obtenues sur 5 essais.

Critères d'importance de l'effet:

Critère sémantique: On considérera qu'un effet est faible s'il est inférieur à 1, important s'il est supérieur à 2.

Critère psychométrique: On prendra les critères habituels ($d/s < 1/3$ et $d/s > 2/3$) comme limites d'un effet faible et d'un effet important.

N.B.: l'effet d'un facteur est la différence des scores observés pour les deux niveaux du facteur. Dans les notations précédentes, s désigne l'écart type de la série des effets individuels. De manière classique, la quantité $\frac{d}{s(d)}$ est appelée *effet calibré*.

	m1c1	m2c1	m1c2	m2c2
s1x1	70.25	79.50	61.75	68.00
s2x1	57.50	65.00	62.25	71.00
s3x1	71.00	91.00	60.00	68.00
s4x1	63.75	76.25	58.25	70.50
s5x1	72.50	60.25	61.25	60.50
s6x1	61.25	80.00	64.25	87.00
s7x1	58.00	59.75	62.75	69.00
s8x1	57.50	64.25	74.25	85.00
s9x2	62.00	66.50	66.25	72.50
s10x2	74.00	78.25	74.25	87.25
s11x2	63.25	77.50	61.50	86.50
s12x2	88.25	91.50	93.50	83.25
s13x2	60.75	67.25	60.75	69.25
s14x2	70.75	84.00	73.25	79.50
s15x2	54.50	59.00	64.50	68.25
s16x2	48.50	51.00	62.50	70.25

Tableau 14: Données "Tapping"

	PD1	PD2	PD3	PD4
s1x1	-3.00	7.750	-10.000	69.8750
s2x1	1.25	8.125	5.375	63.9375
s3x1	-12.00	14.000	-17.000	72.5000
s4x1	-0.25	12.375	-5.625	67.1875
s5x1	11.50	-6.500	-5.500	63.6250
s6x1	4.00	20.750	5.000	73.1250
s7x1	4.50	4.000	7.000	62.3750
s8x1	4.00	8.750	18.750	70.2500
s9x2	1.75	5.375	5.125	66.8125
s10x2	8.75	8.625	4.625	78.4375
s11x2	10.75	19.625	3.625	72.1875
s12x2	-13.50	-3.500	-1.500	89.1250
s13x2	2.00	7.500	1.000	64.5000
s14x2	-7.00	9.750	-1.000	76.8750
s15x2	-0.75	4.125	9.625	61.5625
s16x2	5.25	5.125	16.625	58.0625

Tableau 15: Protocoles dérivés des données "Tapping"

1) Pour chacun des 5 effets X , M , C , $X.M$, $M.C$ indiquer :

– quel est, parmi les 4 protocoles dérivés du tableau 15, le protocole dérivé pertinent pour l'étude de cet effet

– comment a été calculée la première valeur (sujet s1) de ce protocole dérivé pertinent.

2) On s'intéresse à l'effet du facteur Sexe (X), c'est-à-dire aux différences de performances obtenues par les garçons (x1) et les filles (x2). On trouve une différence de performance $d_{obs} = 3.086$ en faveur des filles. On veut tester l'hypothèse H_0 d'une absence d'effet parent pour cette comparaison.

– Indiquer la formule du test T de Student à utiliser dans ce cas.

– On trouve $t_{obs} = 0.788$. Indiquer le nombre de degrés de liberté et le résultat du test. Donner une conclusion inférentielle sur l'effet de X.

3) On s'intéresse à l'effet du facteur C, c'est-à-dire à l'effet de la tâche concurrente sur les performances au tapping. En moyenne, on trouve $m_{c_1} = 68.27$ et $m_{c_2} = 70.53$ d'où $d_{obs} = 2.26$. On souhaite savoir si l'effet de la tâche concurrente est différent pour les garçons (C/x1) et les filles (C/x2). Pour cela, on dérive le protocole des moyennes de support X*C représenté ci-dessous.

	c1	c2
x1	67.984	67.734
x2	68.563	73.328

– Pour chacun des deux effets C/x1 et C/x2, calculer les valeurs des effets, puis conclure sur l'importance des effets en utilisant le critère sémantique.

– Construire un graphique représentant l'interaction entre C et X.

4) La première colonne du tableau 15 (protocole PD1) est un sous-protocole de structure S8<X2>.

– Calculer sur ce protocole les moyennes m_{x_1} et m_{x_2} , les variances corrigées ($s_{1,c}^2$ et $s_{2,c}^2$) et les écarts-types corrigés de chacun des deux groupes x1 et x2.

– Calculer la variance corrigée intra et l'écart-type corrigé intra.

5) Pour les mêmes données que la question précédente, de structure S8<X2>, on peut calculer la variance inter (variance des moyennes des deux groupes x1 et x2) et la variance intra (moyenne des variances des deux groupes).

– Indiquer comment augmenter la variance intra sans modifier la variance inter.

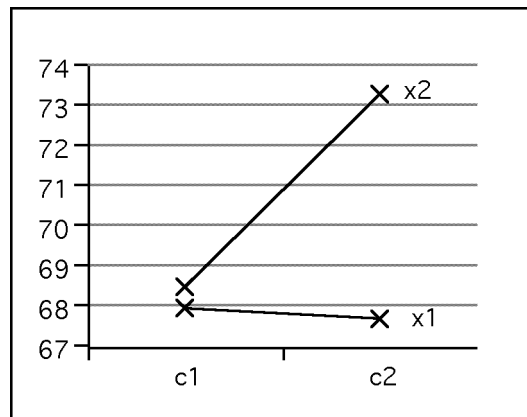
– Indiquer comment augmenter la variance inter sans modifier la variance intra.

Indications de réponses : 1)

Effet	Protocole	Calcul
X	PD4	$(70.25 + 79.50 + 61.75 + 68)/4$
M	PD2	$[(79.50 - 70.25) + (68.00 - 61.75)]/2$
C	PD3	$[(61.75 + 68.00) - (70.25 + 79.50)]/2$
X.M	PD2	
M.C	PD1	$(68.00 - 61.75) - (79.50 - 70.25)$

2) Comparaison de moyennes sur groupes indépendants. $ddl = 14$. Pas d'effet significatif au seuil de 5%.

3) Le graphe d'interaction est donné par :



4) On obtient : $m_{x_1} = 1.25$, $m_{x_2} = 0.9025$, $s_{1,c}^2 = 46.66$, $s_{2,c}^2 = 64.570$, $s_{1,c} = 6.83$, $s_{2,c} = 8.04$.

La variance corrigée intra est la demi-somme des variances précédentes (car il s'agit de groupes équilibrés). D'où $s_{intra}^2 = 55.615$ et $s_{intra} = 7.45$.

5) Pour augmenter la variance intra sans modifier la variance inter, on modifie les scores de façon à augmenter la dispersion dans l'un des groupes sans modifier les moyennes des groupes. Par exemple, on diminue de 10 points le score du sujet 3 et on augmente de 10 points celui du sujet 5.

Pour augmenter la variance inter sans modifier la variance intra, on peut, par exemple, augmenter d'une même quantité tous les scores du groupe présentant la moyenne la plus élevée.

Enoncé 40 Dossier "TR"

TR= Temps de réaction

Les données présentées ci-dessous sont extraites d'une expérience de temps de réaction (Holender et Bertelson, 1975). La tâche du sujet (adulte) est de réagir le plus rapidement possible à la présentation d'un stimulus. Deux facteurs expérimentaux sont en jeu: le facteur F, fréquence du stimulus, à 2 modalités: f1: stimulus fréquent (de fréquence 0.75) f2: stimulus rare (de fréquence 0.25) et le facteur D, durée de la période préparatoire (délai entre la présentation d'un signal avertisseur et celle du stimulus), à 2 modalités également: d1: période courte (0.5 secondes) d2: période longue (5 secondes). On introduit ici un facteur supplémentaire (non présent dans l'expérience originale) en supposant que les sujets sont repartis en 2 groupes de 4 sujets chacun, d'où le facteur Groupe, $G = \{g1, g2\}$. Le facteur sujet, S, a 8 modalités.

Chaque sujet effectue plusieurs essais dans chacune des 4 conditions expérimentales correspondant aux modalités du croisement $F2 * D2$. Le protocole de base présenté ci-dessous donne pour chaque sujet, et chacune des conditions expérimentales, la moyenne des temps de réaction pour les différents essais (en millisecondes). D'où un protocole numérique de 32 observations.

		Protocole de base				Protocoles dérivés		
		f1d1	f2d1	f1d2	f2d2	F/d1	F/d2	Moy.
S(g1)	s1	387	435	416	473	48	57	427.75
	s2	321	336	343	368	15	25	342
	s3	333	362	358	390	29	32	360.75
	s4	344	430	352	393	86	41	379.75
S(g2)	s5	368	432	432	504	64	72	434
	s6	357	367	394	411	10	17	382.25
	s7	336	346	340	421	10	81	360.75
	s8	387	454	438	496	67	58	443.75

Tableau des moyennes (m) et des écarts types corrigés (s):

		Protocole de base				Protocoles dérivés		
		f1d1	f2d1	f1d2	f2d2	F/d1	F/d2	Moy.
g1	m	346.250	390.750	367.250	406.000	44 500	38.750	377.56
	s	28.745	49.406	33.079	46.036	30.795	13.817	36.84
g2	m	362.000	399.750	401.000	458.000	37 750	57.000	405.19
	s	21.307	51.461	45.092	48.778	32.066	28.296	40.08
Ens.	m	354.125	395.25	384.125	432			

Facteur F - Facteur D

	f2	f1	f2 - f1
s1	454	401.5	52.5
s2	353	332	20
s3	376	345.5	30.5
s4	411.5	348	63.5
Moy.			41.625
$s_{1,c}$			19.90
s5	468	400	68
s6	389	375.5	13,5
s7	383.5	338	45.5
s8	475	412.5	62.5
Moy.			47.375
$s_{2,c}$			24.53
Moy.			44.5
s_c			20.91

	d2	d1	d2 - d1
s1	444.5	411	33.5
s2	355.5	328.5	27
s3	374	347.5	26.5
s4	372.5	387	-14.5
Moy.			18.125
$s_{1,c}$			21.98
s5	468	400	68
s6	402.5	362	40.5
s7	380.5	341	39.5
s8	467	420.5	46.5
Moy.			48.625
$s_{2,c}$			13.28
Moy.			33.75
s_c			23.42

- 1) Quel est le plan d'expérience utilisé?
- 2) Etudier l'effet du facteur G (groupe).
- 3) Etudier l'effet principal du facteur F.
- 4) Etudier l'effet principal du facteur D.
- 5) Construire un graphe illustrant l'interaction entre les les facteurs D et F. Le commenter.
- 6) Construire un graphe illustrant l'interaction entre les facteurs D et G. Quel est le protocole dérivé pertinent pour étudier cette interaction? Cette interaction est-elle significative? Conclure à l'aide d'un test de comparaison de moyennes.

Indications de correction.

1) Le plan d'expérience est $S_4 < G_2 > *D_2 * F_2$.

2) Le protocole dérivé pertinent est ici celui des moyennes par sujet (premier tableau). En utilisant les données calculées dans le second tableau, on obtient $t_{obs} = 1.015$, résultat non significatif aux seuils traditionnels.

3) L'effet principal du facteur F peut être étudié à l'aide d'une comparaison de moyennes sur deux groupes appariés, en utilisant les données du tableau 3. On obtient : $t_{obs} = 4.03$ et $ddl = 7$, résultat significatif au seuil de 5% unilatéral.

4) L'effet principal du facteur D peut être étudié à l'aide d'une comparaison de moyennes sur deux groupes appariés, en utilisant les données du tableau 4. On obtient : $t_{obs} = 6.01$ et $ddl = 7$, résultat significatif au seuil de 5% unilatéral.

5) On utilise les moyennes figurant dans la dernière ligne du tableau 2. Le graphe ne montre aucune interaction entre D et G .

6) On utilise ici le tableau 4. L'interaction peut être étudiée à l'aide d'une comparaison de deux moyennes sur des groupes indépendants. On obtient : $t_{obs} = 1.67$ et $ddl = 6$, résultat non significatif au seuil de 5% unilatéral.

Enoncé 41 Données "Figures"

Les données qui suivent sont empruntées à une expérience de ségrégation perceptive sur des figures de GOTTSCHALDT. La tâche du sujet consiste à retrouver et à retracer les contours d'une figure simple dans des figures complexes. Le matériel comportait plusieurs planches de difficulté croissante. Pour l'analyse qui suit, on retiendra seulement les résultats relatifs aux planches p1 et p2.

Les sujets de l'expérience ont été affectés au hasard à l'une des deux conditions d'apprentissage a1 et a2 décrites plus loin. A l'intérieur de chaque condition, les sujets passent toutes les planches, dans tous les ordres possibles, donc s'agissant des planches p1 et p2: soit dans l'ordre 1-2, soit dans l'ordre 2-1.

Les conditions a1 et a2 sont définies de la manière suivante:

- condition a1: les sujets effectuent la tâche après avoir procédé à un apprentissage prolongé de figures simples;
- condition a2: les sujets effectuent la tâche sans apprentissage préalable.

La variable dépendante de base est le temps (en secondes) mis pour repasser une figure simple (temps moyen par sujet et par planche).

Pour l'analyse qui suit, on a retenu le sous-protocole suivant relatif à 24 sujets (6 sujets pour chacun des 4 groupes) et aux deux planches p1 et p2.

condition a1			
		planche p1	planche p2
g11 ordre 1-2	1	15	38
	2	9	40
	3	17	20
	4	8	13
	5	16	41
	6	9	35
g21 ordre 2-1	7	7	27
	8	7	36
	9	12	35
	10	4	24
	11	7	36
	12	7	30

condition a2			
		planche p1	planche p2
g12 ordre 1-2	13	6	27
	14	7	15
	15	25	24
	16	26	30
	17	10	31
	18	6	10
g22 ordre 2-1	19	6	22
	20	10	27
	21	15	18
	22	10	22
	23	9	25
	24	9	5

1) Chacun des sujets de l'expérience a été affecté au hasard à l'un des quatre groupes g11, g21, g12, g22. Par ailleurs chaque sujet passe les deux planches p1 et p2. On appellera:

- P2 = {p1, p2} le facteur "Planches";
- G4 = {g11, g21, g12, g22} le facteur "Groupe";
- S le facteur "sujets".

Donner une formule verbale et une justification de chacune des écritures suivantes:

S<G4> ; S*P2 ; S<G4>*P2

2) On considère les facteurs:

Apprentissage A2 = {a1, a2} avec a1: apprentissage préalable, a2: pas d'apprentissage préalable.

Ordre O2 = {o1, o2} avec o1: planche p1 puis planche p2, o2: planche p2 puis planche p1

Donner une formulation verbale et une justification de l'écriture suivante: O2*A2.

Donner enfin une formulation verbale de l'écriture suivante: S<O2*A2>*P2

3) A l'intérieur de chacun des 4 groupes, on a calculé la moyenne et la variance corrigée relatives à chaque planche. Dans le tableau suivant, on trouvera les résultats relatifs à la planche 1 (les résultats relatifs à la planche 2 n'étant pas nécessaires pour les calculs demandés par la suite); dans chaque case, la première valeur est la moyenne, la deuxième la variance corrigée.

condition a1		
	planche p1	planche p2
g11	12,3 16,67	
g21	7,3 6,67	

condition a2		
	planche p1	planche p2
g12	13,3 91,07	
g21	9,8 8,57	

L'objectif principal de l'expérience est d'examiner s'il y a une différence entre les conditions a1 et a2. On se bornera ici à cet examen pour la planche p1 seulement, à l'intérieur de chacun des ordres de passation. Donc, on examinera les 2 comparaisons g11, g12 et g21, g22.

a) Que suggère l'examen à vue des données, indépendamment de toute procédure d'inférence statistique?

b) Examiner d'un point de vue inférentiel chacune des 2 comparaisons indiquées; on pourra notamment procéder à un test de comparaison de 2 moyennes. Commenter brièvement les résultats obtenus.

Réponses : 1) $S < G_4 >$: chaque sujet est affecté à un seul groupe; le facteur "sujet" est emboîté dans le facteur "groupe".

$S * P_2$: chaque sujet passe par les deux niveaux du facteur "planche". Le facteur "sujet" est croisé avec le facteur "planche".

2) $O_2 * A_2$: chaque niveau du facteur "apprentissage" est combiné avec chaque niveau du facteur "ordre". Les facteurs O_2 et A_2 sont croisés.

$S < O_2 * A_2 > * P_2$: Chaque sujet est affecté à un ordre donné et un type d'apprentissage donné. Chaque sujet passe par les deux modalités du facteur "planche".

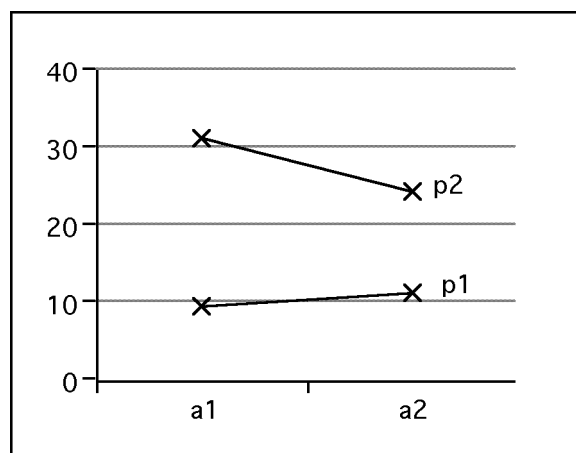
3) b) On compare g_{11} et g_{12} à l'aide d'une comparaison de moyennes sur des groupes indépendants. $t_{obs} = -0.24$, qui n'est pas significatif d'une différence entre les deux groupes. De même, la comparaison des groupes g_{21} et g_{22} aboutit à $t_{obs} = -1.56$, dont le niveau de significativité n'est que de 7.4%.

Remarques. On obtiendrait des résultats plus significatifs en étudiant les scores obtenus sur la planche p2.

Le tableau complet d'analyse de variance donne ici :

Source	ddl	SC	CM	F_{cal}	Pr
O_2	1	96.33	96.33		
A_2	1	200.08	200.08	2.75	11%
O_2A_2	1	2.08	2.08		
$S(O_2A_2)$	20	1457.51	72.88		
P_2	1	2914.08	2914.08	89.22	**
O_2P_2	1	24.08	24.08		
A_2P_2	1	408.33	408.33	12.5	0.2%
$O_2A_2P_2$	1	16.33	16.33		
Résidu	20	653.17	32.66		
Total	47	5772			

L'effet du facteur "planche" est très significatif. L'interaction entre les facteurs "apprentissage" et "planche" est également très significatif et peut être illustré par un graphe d'interaction.



Énoncé 42 Dossier "Syssau"

Dans un article publié en 1996, A. Syssau et D. Brouillet étudient le rôle de la nature et de la valeur affective d'un texte dans la récupération du souvenir chez les personnes âgées. L'expérience a concerné 80 sujets répartis en 2 groupes : 40 sujets présentant un déficit mnésique et 40 sujets non déficitaires. Quatre textes ont été utilisés, correspondant au croisement des deux modalités du facteur "type de texte" (narratif v/s descriptif) et des deux modalités du facteur "connotation" (affective v/s neutre). On a constitué 8 groupes de 10 sujets : chaque texte est proposé à un groupe de sujets déficitaires et un groupe de sujets non-déficitaires.

La performance des sujets est mesurée par le nombre de propositions correctement rappelées (score de 0 à 20).

Les auteurs font les hypothèses suivantes :

Quel que soit le groupe, les textes narratifs seront mieux restitués que les textes descriptifs, avec des performances, dans le groupe non déficitaire, supérieures à celles du groupe déficitaire. De plus, la charge affective facilitera la restitution des textes, dans le groupe déficitaire. Ainsi, l'association "charge affective et structure narrative" aurait pour conséquence une atténuation des différences de performances entre le groupe déficitaire et non déficitaires.

Les résultats observés dans une reprise de cette expérience sont rassemblés dans le tableau 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 ?
- c) Écrire le plan d'expérience correspondant.

- 2) a) Compléter le tableau 18 en calculant les carrés moyens et les statistiques F de Fisher qui sont remplacés par "... " dans l'énoncé.
- b) Utiliser ce tableau pour déterminer si les effets principaux des facteurs déficit mnésique, type de texte et connotation affective sont significatifs.

3) *Étude des interactions*

- a) Calculer les scores moyens des 4 groupes obtenus en croisant les deux facteurs déficit et type de texte, indépendamment de la connotation affective du texte.
- b) Réaliser un graphe montrant l'absence d'interaction entre ces deux facteurs.
- c) Réaliser une étude analogue montrant l'interaction entre le déficit mnésique et la connotation affective du texte.
- d) Utiliser le tableau d'analyse de variance (tableau 18) pour confirmer au niveau inférentiel les résultats précédents.

- 4) Les auteurs affirment :

Quel que soit le texte, lorsque la connotation affective est présente, les sujets déficitaires ont des performances améliorées.

- a) Justifier cette affirmation, pour les textes descriptifs, à l'aide d'un test unilatéral de comparaison de moyennes.

Les auteurs poursuivent :

Ils ont alors des performances comparables à celles des sujets non déficitaires.

b) Justifier cette affirmation en s'appuyant sur l'un des tableaux d'analyse de variance fournis.

Les auteurs affirment également :

Quel que soit le texte, si la connotation est neutre, les sujets non déficitaires obtiennent des résultats supérieurs aux sujets déficitaires.

c) L'un des tableaux d'analyse de variance permet de justifier en partie cette conclusion. Lequel? Pourquoi la justification n'est-elle que partielle?

5) Au vu des résultats obtenus, les hypothèses des auteurs sont-elles vérifiées?

	texte narratif		texte descriptif	
	connotation affective	connotation neutre	connotation affective	connotation neutre
déficitaires	0	2	1	1
	2	0	3	0
	1	5	0	0
	8	9	4	1
	2	1	1	0
	4	0	2	1
	1	0	2	1
	0	7	1	1
	6	3	0	0
	9	0	0	0
non déficitaires	0	0	0	6
	4	2	0	4
	2	3	3	2
	5	6	4	0
	1	3	2	0
	2	8	0	1
	6	6	0	1
	2	4	2	3
	0	3	1	0
	2	5	0	5

Tableau 16: Données observées

		texte narratif		texte descriptif	
		connotation affective	connotation neutre	connotation affective	connotation neutre
déficitaires	\bar{x}	3.3	2.7	1.4	0.5
	s	3.13	3.10	1.28	0.50
	s_c	3.30	3.27	1.35	0.53
non déficitaires	\bar{x}	2.4	4.0	1.2	2.2
	s	1.91	2.19	1.40	2.09
	s_c	2.01	2.31	1.48	2.20

Tableau 17: moyennes et écarts types par groupe

Sources de var.	ddl	SC	CM	F
Déficit \mathcal{D}	1	4.513	4.513	...
Type texte \mathcal{T}	1	63.012	...	...
Connotation \mathcal{C}	1	1.513	...	...
Interaction $\mathcal{D} \times \mathcal{T}$	1	1.513	...	...
Interaction $\mathcal{D} \times \mathcal{C}$	1	21.013	...	...
Interaction $\mathcal{T} \times \mathcal{C}$	1	1.013	...	...
Inter. $\mathcal{D} \times \mathcal{T} \times \mathcal{C}$	1	0.112	0.112	0.02
Résidu	72	360.700	5.010	
Total	79	453.388		

Tableau 18: Analyse de variance (ensemble des facteurs)

Sources de var.	ddl	SC	CM	F	Prob.
Déficit \mathcal{D}	1	3.02	3.02	0.64	0.43
Type texte \mathcal{T}	1	24.02	24.02	5.07	0.03
Interaction $\mathcal{D} \times \mathcal{T}$	1	1.22	1.22	0.26	0.61
Résidu	36	170.50	4.74		
Total	39	198.77			

Tableau 19: Analyse de variance (connotation affective)

Sources de var.	ddl	SC	CM	F	Prob.
Déficit \mathcal{D}	1	22.50	22.50	4.26	0.046
Type texte \mathcal{T}	1	40.00	40.00	7.57	0.009
Interaction $\mathcal{D} \times \mathcal{T}$	1	0.40	0.40	0.08	0.785
Résidu	36	190.20	5.28		
Total	39	253.10			

Tableau 20: Analyse de variance (connotation neutre)