

CONCOURS BLANC PHBMR

17 OCTOBRE 2024

UE 93 - EXERCICES

5 EXERCICES - Cotation 40 points chacun - Durée 2 heures**EXERCICE N°1 (COPIE BLEUE)**

Une quantité importante de carcinomes prostatiques surexpriment des antigènes membranaires spécifiques de la prostate (PSMA). Leur traitement par radiothérapie interne vectorisée au [^{177}Lu]PSMA nécessite un examen préliminaire au PSMA marqué au gallium-68 (^{68}Ga).

Le gallium-68 est produit avec un générateur de germanium-68/gallium-68 ($^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$) et décroît avec une demi-vie de 68 minutes pour donner du zinc-68 stable. Le gallium-68 décroît comme suit :

- 89 % par émission de positon d'une énergie moyenne de 836 keV,
- 10 % par capture d'électrons orbitaux.

Données :

Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Équivalent énergétique de l'unité de masse atomique : $1 \text{ u} = 1 \text{ uma} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Masse d'un électron : $m_e = 0,511 \text{ MeV}/c^2$

Numéro atomique des éléments :

Z	30	31
Symbole	Zn	Ga
Nom	Zinc	Gallium
Masse atomique (u)	67,924845	67,927980

QUESTION 1 :

Écrire l'équation de désintégration par émission de positon du gallium-68.

Quel rayonnement secondaire permet la détection du positon ?

Comment ce rayonnement secondaire est-il créé ?

QUESTION 2 :

Calculer l'énergie cinétique maximale (en keV) emportée par l'émission de positon.

Le spectre d'émission des positons est-il continu ? et pourquoi.

Une trousse contient 25 µg de PSMA par flacon. Afin de réaliser le radiomarquage au gallium-68, on effectue une élution du générateur $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ avec 5 mL de HCl 0,1 M permettant d'obtenir 1,20 GBq de gallium-68. L'intégralité de l'éluat obtenu est injectée dans le flacon.

QUESTION 3 :

- Calculer l'activité volumique de l'éluat.
- Calculer le pH de l'éluat.
- Calculer la masse totale de gallium-68 présente dans le flacon.
- Calculer l'activité en $[^{68}\text{Ga}]\text{PSMA}$ obtenue, sachant que le rendement de marquage est de 98 % et que le gallium-68 est en excès.

Cette solution de $[^{68}\text{Ga}]\text{PSMA}$ est ensuite dispensée pour injection à un patient de 75 kg une heure après le radiomarquage au gallium-68. L'activité à administrer est de 2,0 MBq/kg.

QUESTION 4 :

- Calculer l'activité à administrer au patient.
- Calculer l'activité de la solution de $[^{68}\text{Ga}]\text{PSMA}$ au moment de la dispensation.
- Calculer l'activité volumique de la solution de $[^{68}\text{Ga}]\text{PSMA}$ au moment de la dispensation.
- Calculer le volume de $[^{68}\text{Ga}]\text{PSMA}$ injecté au patient.
- Calculer (en ng) la masse de PSMA totale (marqué et non marqué) injectée au patient.

QUESTION 5 :

Calculer la dose efficace reçue par le patient sachant que la dose de rayonnement efficace de la solution de $[^{68}\text{Ga}]\text{PSMA}$ est de 0,022 mSv/MBq.

QUESTION 6 :

Compte tenu de la demi-vie biologique du $[^{68}\text{Ga}]\text{PSMA}$ de 4,4 heures, calculer la demi-vie effective du $[^{68}\text{Ga}]\text{PSMA}$.

EXERCICE N°2 (COPIE VERTE)

On veut doser en chromatographie liquide haute performance couplé à un détecteur UV, une substance A dans deux solutions buvables respectivement à une concentration théorique de 9,5 mg/L (solution 1) et 6,5 mg/L (solution 2). Soit B, une substance utilisée comme étalon interne.

On prépare la gamme d'étalonnage selon le protocole suivant, en utilisant :

- Solution A : solution contenant la substance A à 20 mg/L
- Solution B : solution contenant la substance B à 10 mg/L
- Eau ppi

	Etalon 1	Etalon 2	Etalon 3	Etalon 4	Etalon 5
Volume de solution A à 20 mg/L (μL)	200	400	600	800	1000
Volume de solution B à 10 mg/L (μL)	100	100	100	100	100
Eau ppi (μL)	1700	1500	1300	1100	900
Signal de la substance A	0,12	0,288	0,396	0,504	0,594
Signal de la substance B	0,10	0,12	0,11	0,105	0,099

Pour le dosage des solutions échantillons, on mélange 1900 μL de solution à doser avec 100 μL de solution B.

On injecte 20 μL de chaque solution dans le système chromatographique. Les chromatogrammes obtenus donnent des hauteurs de pic A et B suivants :

	Etalon 1	Etalon 2	Etalon 3	Etalon 4	Etalon 5	Solution 1	Solution 2
Signal de la substance A (UA)	0,12	0,288	0,396	0,504	0,594	0,618	0,398
Signal de la substance B (UA)	0,10	0,12	0,11	0,105	0,099	0,10	0,10

Pour l'étalon 5, les temps de rétention des substances A et de B sont respectivement de 1,55 et 2,6 min avec des largeurs à la base respectivement de 0,55 min et 0,65 min.

QUESTION 1 :

La séparation entre les composés A et B est-elle satisfaisante?

QUESTION 2 :

Calculer la concentration en A des 5 solutions étalon et déterminer les paramètres de la droite d'étalonnage en tenant compte de l'ajout de l'étalon interne.

QUESTION 3 :

Calculer les concentrations des solutions analysées 1 et 2.

QUESTION 4 :

Déterminer la concentration des solutions buvables 1 et 2.

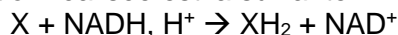
QUESTION 5 :

La spécification étant de +/- 5%, conclure sur la conformité de chacune des deux solutions buvables.

EXERCICE N°3 (COPIE JAUNE)

Vous purifiez une enzyme d'oxydoréduction à partir d'une culture de bactéries. Afin de mesurer le degré de purification vous mesurez l'activité spécifique de vos extraits à chaque étape. La mesure l'activité spécifique s'effectue dans une microcuve de 0,7 cm de trajet optique avec un volume réactionnel total de 500 μL .

La réaction réalisée est la suivante



Pour vos mesures les deux substrats sont apportés en large excès. L'unité de quantité catalytique utilisée ici sera l'unité U. On donne le coefficient d'extinction molaire du NADH, H^+ à 340 nm = 6300 $\text{mol}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{cm}$.

QUESTION 1 :

Donnez la définition de l'unité U

QUESTION 2 :

Pourquoi les deux substrats sont apportés en excès ? Que peut-on en conclure ?

Vous partez d'une solution A qui est un lysat de culot de bactéries. La mesure de l'activité enzymatique de la solution A est effectuée à partir d'une prise d'essai de 0,2 mg de protéines totales. La variation d'absorbance lue à 340 nm pendant 2 min est de 0,5. Les conditions de vitesse initiale ont été validées.

QUESTION 3 :

Calculer la concentration catalytique dans la cuve réactionnelle

QUESTION 4 :

Déduisez en l'activité spécifique (en U/g) dans le lysat A

Une étape de purification est réalisée par chromatographie d'exclusion sur gel qui permet d'éluer une fraction d'intérêt avec un pic de masse moléculaire apparente de 120 kDa. L'analyse de cette fraction éluée (solution B) est effectuée sur une prise d'essai de 0,5 μg de protéines totales. La variation d'absorbance lue à 340 nm pendant 1 min est de 0,2. (il est toujours vérifié que vous êtes bien en condition de vitesse initiale).

QUESTION 5 :

Calculez le degré de purification de cette étape.

La solution B est analysée par électrophorèse en gel de polyacrylamide en présence de sodium dodecyl-sulfate après traitement de la solution B par le bêta-mercaptoéthanol. Après migration, la révélation du gel par le bleu de coomassie donne une bande unique de masse moléculaire apparente de 40 kDa.

QUESTION 6 :

Décrivez la méthode du SDS-PAGE appliquée ici et ce qu'elle donne comme information.

QUESTION 7 :

Que pouvez-vous conclure sur la nature de l'enzyme bactérienne ?

QUESTION 8 :

Calculez l'activité moléculaire spécifique de l'enzyme étudiée

QUESTION 9 :

Déduisez en le temps de rotation de l'enzyme.

EXERCICE N°4 (COPIE ROSE)

PARTIE A

L'effet de cinq molécules différentes (A à E) a été étudié sur le tonus contractile d'un cardiomyocyte. On mesure ainsi pour chaque molécule, l'amplitude de la contraction du cardiomyocyte (en pourcentage de l'effet maximal) en présence de concentrations croissantes de la molécule (en nM). Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Concentration (nM)	1	3	10	30	100	300	1000
Molécule A	3,0	9,0	31,3	53,0	81,3	98,5	100,0
Molécule B	16,4	47,8	76,1	86,6	88	88,5	88,5
Molécule C	0,7	4,5	8,6	17,2	20,5	40,5	40,7
Molécule D	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Molécule E	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

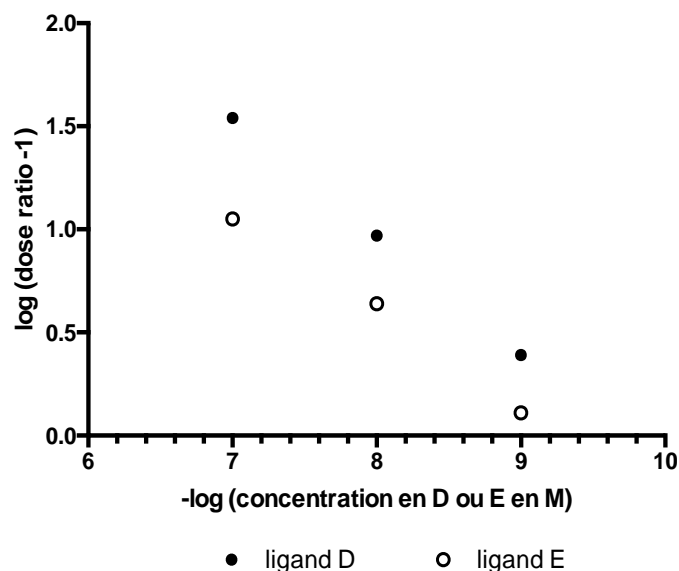
QUESTION 1 :

Indiquez le type d'expérience réalisée pour cette étude et le type de réponse obtenue

QUESTION 2 :

Après avoir défini et justifié la nature des ligands A, B et C, comparez ces 3 ligands en utilisant les paramètres pharmacologiques adéquats. Vous donnerez pour chaque paramètre sa valeur ou une estimation de cette valeur et vous classerez ces molécules.

Le graphique ci-dessous a été généré à la suite d'une expérience testant les effets de la molécule A en présence du ligand D ou E, à 3 concentrations différentes (10^{-9} , 10^{-8} et 10^{-7} M).



QUESTION 3 :

De quelle représentation s'agit-il ?

Que permet-elle de déterminer et que définit le paramètre déterminé ?

Donnez la valeur de ce paramètre pour D et E et comparez-les.

QUESTION 4 :

Par rapport à/aux hypothèse(s) émise(s) à la question 3, que concluez-vous sur la nature de ces 2 ligands.

Le ligand A est connu pour interagir avec un récepteur couplé aux protéines G, exprimé à la membrane du cardiomyocyte. La réponse cellulaire induite par ce ligand A est insensible à la toxine cholérique.

QUESTION 5 :

A partir de ces données, que pouvez-vous conclure sur le type de protéine G impliqué dans la réponse cellulaire induite par le ligand A dans le cardiomyocyte ?

Justifiez votre réponse en expliquant votre raisonnement.

PARTIE B

Un laboratoire développe le 5-HOB, un nouveau médicament ciblant les récepteurs β -adrénergiques (β 1-AR, β 2-AR). Les propriétés du 5-HOB sont comparées à celles du formotérol, un médicament utilisé dans l'asthme et décrit comme agoniste β 2-adrénergique.

Dans un premier temps, les chercheurs ont utilisé des cellules CHO (cellules ovariennes de hamster) exprimant spécifiquement le récepteur β 1-AR (CHO β 1-AR) ou le récepteur β 2-AR (CHO β 2-AR) et avaient à disposition du [125 I]-Iodocyanopindolol (ICYP), un ligand non sélectif des récepteurs β -ARs. Ils ont réalisé plusieurs expériences et ont obtenu les résultats suivants (Tableau 1).

	Bmax (fmol/mg)	Ki Formotérol (M)	Ki 5-HOB (M)
CHO β 1-AR	72,5	$9 \cdot 10^{-8}$	$9 \cdot 10^{-7}$
CHO β 2-AR	82,3	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$9 \cdot 10^{-9}$

Tableau 1 : Valeurs de Bmax, de Ki du formotérol et de Ki du 5-HOB obtenues dans les cellules CHO β 1-AR et les cellules CHO β 2-AR.

QUESTION 1 :

Quel type d'approche expérimentale a été réalisé pour obtenir ces données ? Justifiez votre réponse.

QUESTION 2 :

Définissez le paramètre Bmax et expliquez le principe de l'expérience qui a permis de l'obtenir.

QUESTION 3 :

Définissez le paramètre Ki. Expliquez le principe de l'expérience permettant de le calculer et les éléments nécessaires à sa détermination.

EXERCICE N°5 (COPIE BLANCHE)

Un chercheur a mené une étude sur les performances physiques de deux groupes d'athlètes, avant et après un certain programme d'entraînement, intensif pour le groupe 1, modéré pour le groupe 2. Les athlètes ont été testés sur la distance de course qu'ils pouvaient parcourir en 12 minutes.

Groupe 1 : entraînement intensif			Groupe 2 : entraînement modéré		
âge (année)	Distance avant entraînement (km)	Distance après entraînement (km)	âge (année)	Distance avant entraînement (km)	Distance après entraînement (km)
22	2,5	3,2	21	2,6	2,9
25	2,7	3,3	25	2,8	3,0
28	2,9	3,5	26	3,0	3,1
30	3,0	3,4	32	2,9	3,0
27	2,8	3,6	29	2,7	3,2

Tous les tests seront effectués au risque α de 5%.

QUESTION 1 :

- a) Calculer l'intervalle de confiance à 95% de la distance moyenne parcourue avant l'entraînement dans le groupe 1.
- b) Le chercheur souhaite savoir si la distance moyenne parcourue par les athlètes du groupe 1 avant l'entraînement est significativement différente de la moyenne théorique de 2.7 km connue pour ce genre d'athlètes. Qu'en pensez-vous ?

QUESTION 2 :

Le chercheur souhaite comparer les performances initiales des deux groupes avant leur programme d'entraînement en comparant les distances parcourues entre les athlètes de chacun des groupes.
Qu'en pensez-vous ?

QUESTION 3 :

Le chercheur cherche à savoir si l'entraînement intensif amène de meilleures performances que l'entraînement modéré – la performance est mesurée par une plus longue distance parcourue en 12 minutes après l'entraînement qu'avant l'entraînement.
Qu'en pensez-vous ?

QUESTION 4 :

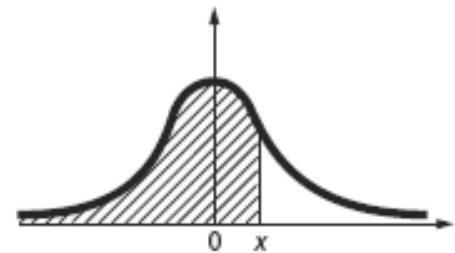
Existe-t-il une relation entre l'âge des athlètes du groupe 1 et l'amélioration de leurs performances ?

Loi normale centrée réduite $\mathcal{N}(0, 1)$

Table de la fonction de répartition

Probabilité d'avoir une valeur inférieure à x :

$$\Pi(x) = P(X \leq x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt$$



x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,00	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,10	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,20	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,30	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,40	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,50	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,60	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,70	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,80	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,90	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,00	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,10	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,20	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,30	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,40	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,50	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,60	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,70	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,80	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,90	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,00	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,10	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,20	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,30	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,40	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,50	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,60	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,70	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,80	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,90	0,9981	0,9982	0,9982	0,9984	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986

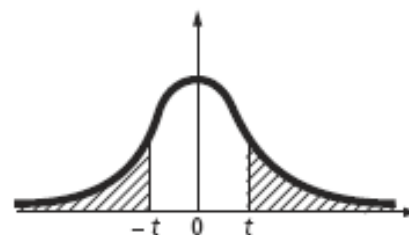
Pour $x < 0$ prendre le complément à 1 de la valeur lue dans la table pour $-x$:

$$\Pi(x) = 1 - \Pi(-x)$$

Loi de Student

Table de dépassement de l'écart absolu

En fonction du nombre ddl de degrés de liberté et d'une probabilité α : valeur de l'écart t qui possède la probabilité α d'être dépassé en valeur absolue.

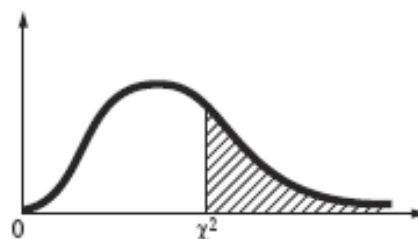


α ddl	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001	0,0001
1	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	127,32	318,31	636,62	6366,2
2	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	14,089	22,327	34,599	99,992
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,215	12,924	28,000
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,610	15,544
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,893	6,869	11,178
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959	9,082
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408	7,885
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041	7,120
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	3,690	4,297	4,781	6,594
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587	6,211
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437	5,921
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,930	4,318	5,694
13	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,372	3,852	4,221	5,513
14	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,140	5,363
15	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073	5,239
16	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015	5,134
17	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965	5,044
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,610	3,922	4,966
19	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883	4,897
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,850	4,837
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819	4,784
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505	3,792	4,736
23	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,104	3,485	3,768	4,693
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,091	3,467	3,745	4,654
25	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,078	3,450	3,725	4,619
30	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,030	3,385	3,646	4,482
35	0,682	1,306	1,690	2,030	2,438	2,724	2,996	3,340	3,591	4,389
40	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551	4,321
45	0,680	1,301	1,679	2,014	2,412	2,690	2,952	3,281	3,520	4,269
50	0,679	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	2,937	3,261	3,496	4,228
60	0,679	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	2,915	3,232	3,460	4,169
70	0,678	1,294	1,667	1,994	2,381	2,648	2,899	3,211	3,435	4,127
80	0,678	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	2,887	3,195	3,416	4,096
90	0,677	1,291	1,662	1,987	2,368	2,632	2,878	3,183	3,402	4,072
100	0,677	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	2,871	3,174	3,390	4,053
150	0,676	1,287	1,655	1,976	2,351	2,609	2,849	3,145	3,357	3,998
200	0,676	1,286	1,653	1,972	2,345	2,601	2,839	3,131	3,340	3,970
300	0,675	1,284	1,650	1,968	2,339	2,592	2,828	3,118	3,323	3,944
500	0,675	1,283	1,648	1,965	2,334	2,586	2,820	3,107	3,310	3,922
1 000	0,675	1,282	1,646	1,962	2,330	2,581	2,813	3,098	3,300	3,906
∞	0,674	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	2,807	3,090	3,291	3,891

Loi du khi-deux

Table de dépassement de l'écart

En fonction du nombre ddl de degrés de liberté et d'une probabilité α : valeur de l'écart χ^2 qui possède la probabilité α d'être dépassée.



ddl \ α	0,999	0,99	0,95	0,90	0,50	0,10	0,05	0,01	0,001
1	0,000002	0,00016	0,00393	0,0158	0,455	2,706	3,841	6,635	10,828
2	0,00200	0,0201	0,103	0,211	1,386	4,605	5,991	9,210	13,816
3	0,0243	0,115	0,352	0,584	2,366	6,251	7,815	11,345	16,266
4	0,0908	0,297	0,711	1,064	3,357	7,779	9,488	13,277	18,467
5	0,210	0,554	1,145	1,610	4,351	9,236	11,070	15,086	20,515
6	0,381	0,872	1,635	2,204	5,348	10,645	12,592	16,812	22,458
7	0,598	1,239	2,167	2,833	6,346	12,017	14,067	18,475	24,322
8	0,857	1,646	2,733	3,490	7,344	13,362	15,507	20,090	26,124
9	1,152	2,088	3,325	4,168	8,343	14,684	16,919	21,666	27,877
10	1,479	2,558	3,940	4,865	9,342	15,987	18,307	23,209	29,588
11	1,834	3,053	4,575	5,578	10,341	17,275	19,675	24,725	31,264
12	2,214	3,571	5,226	6,304	11,340	18,549	21,026	26,217	32,909
13	2,617	4,107	5,892	7,042	12,340	19,812	22,362	27,688	34,528
14	3,041	4,660	6,571	7,790	13,339	21,064	23,685	29,141	36,123
15	3,483	5,229	7,261	8,547	14,339	22,307	24,996	30,578	37,697
16	3,942	5,812	7,962	9,312	15,338	23,542	26,296	32,000	39,252
17	4,416	6,408	8,672	10,085	16,338	24,769	27,587	33,409	40,790
18	4,905	7,015	9,390	10,865	17,338	25,989	28,869	34,805	42,312
19	5,407	7,633	10,117	11,651	18,338	27,204	30,144	36,191	43,820
20	5,921	8,260	10,851	12,443	19,337	28,412	31,410	37,566	45,315
21	6,447	8,897	11,591	13,240	20,337	29,615	32,671	38,932	46,797
22	6,983	9,542	12,338	14,041	21,337	30,813	33,924	40,289	48,268
23	7,529	10,196	13,091	14,848	22,337	32,007	35,172	41,638	49,728
24	8,085	10,856	13,848	15,659	23,337	33,196	36,415	42,980	51,179
25	8,649	11,524	14,611	16,473	24,337	34,382	37,652	44,314	52,620
30	11,59	14,95	18,49	20,60	29,34	40,26	43,77	50,89	59,70
35	14,69	18,51	22,47	24,80	34,34	46,06	49,80	57,34	66,62
40	17,92	22,16	26,51	29,05	39,34	51,81	55,76	63,69	73,40
45	21,25	25,90	30,61	33,35	44,34	57,51	61,66	69,96	80,08
50	24,67	29,71	34,76	37,69	49,33	63,17	67,50	76,15	86,66
60	31,74	37,48	43,19	46,46	59,33	74,40	79,08	88,38	99,61
70	39,04	45,44	51,74	55,33	69,33	85,53	90,53	100,43	112,32
80	46,52	53,54	60,39	64,28	79,33	96,58	101,88	112,33	124,84
90	54,16	61,75	69,13	73,29	89,33	107,57	113,15	124,12	137,21
100	61,92	70,06	77,93	82,36	99,33	118,50	124,34	135,81	149,45

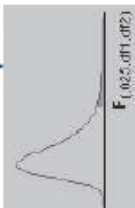
Nota : pour effectuer un test du khi-deux, seule la partie droite de la table est utile ; pour calculer un intervalle de confiance pour une variance (échantillon normal) ou pour effectuer un test de quotient de variances (échantillons normaux), les valeurs pour les probabilités complémentaires α et $1-\alpha$ sont simultanément utilisées.

F Table for alpha=.05



dF2/dF1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	24	30	40	60	120	INF	
1	161.448	199.500	215.707	224.583	230.162	233.996	236.768	238.883	240.543	241.882	243.906	245.950	248.013	249.052	250.065	251.143	252.196	253.253	254.314
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.330	19.353	19.371	19.385	19.396	19.413	19.426	19.446	19.454	19.462	19.471	19.479	19.487	19.495
3	10.128	9.852	9.277	9.117	9.014	8.941	8.887	8.845	8.812	8.786	8.745	8.703	8.660	8.639	8.617	8.594	8.572	8.549	8.526
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.996	5.954	5.912	5.858	5.803	5.774	5.746	5.717	5.688	5.658	5.628
5	6.608	5.786	5.410	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.773	4.735	4.678	4.618	4.558	4.527	4.498	4.464	4.431	4.398	4.365
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.098	4.060	4.000	3.938	3.874	3.842	3.808	3.774	3.740	3.705	3.669
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.575	3.511	3.445	3.411	3.376	3.340	3.304	3.267	3.230
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.501	3.438	3.388	3.347	3.284	3.218	3.150	3.115	3.078	3.043	3.005	2.967	2.928
9	5.117	4.257	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.073	3.006	2.937	2.901	2.864	2.828	2.787	2.748	2.707
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.136	3.072	3.020	2.978	2.913	2.845	2.774	2.737	2.700	2.661	2.621	2.580	2.538
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.094	3.012	2.948	2.896	2.854	2.789	2.719	2.648	2.610	2.571	2.531	2.490	2.448	2.405
12	4.747	3.885	3.490	3.260	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.687	2.617	2.546	2.508	2.468	2.428	2.384	2.341	2.296
13	4.667	3.805	3.410	3.180	3.026	2.916	2.832	2.767	2.714	2.671	2.604	2.534	2.463	2.425	2.385	2.345	2.299	2.255	2.209
14	4.600	3.738	3.343	3.113	2.959	2.849	2.764	2.699	2.646	2.602	2.534	2.463	2.392	2.354	2.314	2.273	2.227	2.182	2.135
15	4.543	3.682	3.287	3.057	2.903	2.793	2.707	2.641	2.588	2.544	2.475	2.403	2.332	2.294	2.254	2.213	2.166	2.119	2.071
16	4.494	3.634	3.239	3.009	2.855	2.745	2.657	2.591	2.538	2.494	2.425	2.352	2.281	2.243	2.202	2.161	2.113	2.065	2.016
17	4.451	3.592	3.197	2.967	2.813	2.703	2.615	2.549	2.496	2.452	2.382	2.309	2.238	2.200	2.159	2.117	2.069	2.020	1.970
18	4.414	3.555	3.160	2.930	2.776	2.666	2.577	2.510	2.457	2.412	2.342	2.269	2.198	2.160	2.119	2.077	2.028	1.979	1.928
19	4.381	3.522	3.127	2.897	2.743	2.633	2.544	2.477	2.423	2.378	2.307	2.234	2.163	2.125	2.084	2.042	1.992	1.942	1.891
20	4.351	3.493	3.098	2.868	2.714	2.604	2.514	2.447	2.393	2.348	2.277	2.204	2.133	2.095	2.054	2.012	1.961	1.910	1.858
21	4.325	3.467	3.072	2.842	2.688	2.578	2.488	2.421	2.367	2.321	2.250	2.177	2.106	2.068	2.027	1.985	1.934	1.882	1.830
22	4.301	3.443	3.048	2.818	2.664	2.554	2.464	2.397	2.342	2.297	2.226	2.153	2.082	2.044	2.003	1.961	1.909	1.857	1.804
23	4.279	3.422	3.027	2.797	2.643	2.533	2.443	2.376	2.321	2.275	2.204	2.131	2.060	2.022	1.981	1.939	1.887	1.834	1.781
24	4.260	3.403	3.008	2.778	2.624	2.514	2.424	2.357	2.302	2.256	2.185	2.112	2.041	2.003	1.962	1.920	1.868	1.815	1.762
25	4.242	3.385	2.990	2.760	2.606	2.496	2.406	2.339	2.284	2.238	2.167	2.094	2.023	1.985	1.944	1.902	1.850	1.797	1.743
26	4.225	3.369	2.974	2.744	2.590	2.480	2.390	2.323	2.268	2.222	2.151	2.078	1.997	1.942	1.900	1.858	1.805	1.752	1.698
27	4.210	3.354	2.959	2.729	2.575	2.465	2.375	2.308	2.253	2.207	2.136	2.063	1.982	1.927	1.885	1.843	1.790	1.737	1.683
28	4.196	3.340	2.945	2.715	2.561	2.451	2.361	2.294	2.239	2.193	2.122	2.049	1.968	1.913	1.871	1.828	1.775	1.722	1.668
29	4.183	3.328	2.933	2.703	2.549	2.439	2.349	2.282	2.227	2.181	2.110	2.037	1.956	1.901	1.859	1.816	1.763	1.710	1.656
30	4.171	3.316	2.922	2.692	2.538	2.428	2.338	2.271	2.216	2.170	2.099	2.026	1.945	1.890	1.848	1.805	1.752	1.699	1.645
40	4.085	3.232	2.837	2.607	2.453	2.343	2.253	2.186	2.131	2.085	2.014	1.941	1.860	1.805	1.763	1.720	1.667	1.614	1.560
60	4.001	3.150	2.755	2.525	2.371	2.261	2.171	2.104	2.049	2.003	1.932	1.859	1.778	1.723	1.681	1.638	1.585	1.532	1.478
120	3.920	3.072	2.677	2.447	2.293	2.183	2.093	2.026	1.971	1.925	1.854	1.781	1.700	1.645	1.603	1.560	1.507	1.454	1.400
Inf	3.842	2.996	2.601	2.371	2.217	2.107	2.017	1.950	1.895	1.849	1.778	1.705	1.624	1.569	1.527	1.484	1.431	1.378	1.324

F Table for alpha=.025



$F_{(0.025, df1, df2)}$

df2\df1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	647.789	799.500	864.163	899.583	921.948	937.111	948.217	956.656	963.285	968.827
2	39.506	39.000	39.166	39.248	39.298	39.332	39.355	39.373	39.387	39.398
3	17.443	16.044	15.439	15.101	14.885	14.735	14.624	14.540	14.473	14.419
4	12.218	10.649	9.979	9.605	9.365	9.197	9.074	8.980	8.905	8.844
5	10.007	8.434	7.764	7.398	7.146	6.978	6.853	6.757	6.681	6.619
6	8.813	7.260	6.599	6.227	5.988	5.820	5.695	5.600	5.523	5.461
7	8.073	6.542	5.890	5.523	5.285	5.119	4.995	4.899	4.823	4.761
8	7.571	6.060	5.416	5.053	4.817	4.652	4.529	4.433	4.357	4.295
9	7.209	5.715	5.078	4.718	4.484	4.320	4.197	4.102	4.026	3.964
10	6.937	5.456	4.826	4.468	4.236	4.072	3.950	3.855	3.779	3.717
11	6.724	5.256	4.630	4.275	4.044	3.881	3.759	3.664	3.588	3.526
12	6.554	5.096	4.474	4.121	3.891	3.728	3.607	3.512	3.436	3.374
13	6.414	4.965	4.347	3.996	3.767	3.604	3.483	3.388	3.312	3.250
14	6.298	4.857	4.242	3.892	3.663	3.501	3.380	3.285	3.209	3.147
15	6.200	4.765	4.153	3.804	3.576	3.415	3.293	3.199	3.123	3.060
16	6.115	4.687	4.077	3.729	3.502	3.341	3.219	3.125	3.049	2.986
17	6.042	4.619	4.011	3.665	3.438	3.277	3.156	3.061	2.985	2.922
18	5.978	4.560	3.954	3.608	3.382	3.221	3.100	3.005	2.929	2.866
19	5.922	4.508	3.903	3.559	3.333	3.172	3.051	2.956	2.880	2.817
20	5.872	4.461	3.859	3.515	3.289	3.128	3.007	2.913	2.837	2.774
21	5.827	4.420	3.819	3.475	3.250	3.090	2.969	2.874	2.798	2.735
22	5.786	4.383	3.783	3.440	3.215	3.055	2.934	2.839	2.763	2.700
23	5.750	4.349	3.751	3.408	3.184	3.023	2.902	2.808	2.731	2.668
24	5.717	4.319	3.721	3.379	3.155	2.995	2.874	2.779	2.703	2.640
25	5.686	4.291	3.694	3.353	3.129	2.969	2.848	2.753	2.677	2.614
26	5.659	4.266	3.670	3.329	3.105	2.945	2.824	2.729	2.653	2.590
27	5.633	4.242	3.647	3.307	3.083	2.923	2.802	2.707	2.631	2.568
28	5.610	4.221	3.626	3.286	3.063	2.903	2.782	2.687	2.611	2.547
29	5.588	4.201	3.607	3.267	3.044	2.884	2.763	2.668	2.592	2.529
30	5.568	4.182	3.589	3.250	3.027	2.867	2.746	2.651	2.575	2.511
40	5.424	4.051	3.463	3.126	2.904	2.744	2.624	2.529	2.452	2.388
60	5.286	3.925	3.343	3.008	2.786	2.627	2.507	2.412	2.334	2.270
120	5.152	3.805	3.227	2.894	2.674	2.515	2.395	2.299	2.222	2.157
Inf	5.024	3.689	3.116	2.786	2.567	2.408	2.288	2.192	2.114	2.048
1	976.708	984.967	983.103	997.249	1001.74	1005.589	1009.800	1014.020	1018.258	
2	39.415	39.431	39.448	39.456	39.465	39.473	39.481	39.490	39.498	
3	14.337	14.253	14.167	14.124	14.081	14.037	13.992	13.947	13.902	
4	8.751	8.657	8.560	8.511	8.461	8.411	8.360	8.309	8.257	
5	6.525	6.428	6.329	6.278	6.227	6.175	6.123	6.069	6.015	
6	5.366	5.269	5.168	5.117	5.066	5.012	4.959	4.904	4.849	
7	4.666	4.568	4.467	4.415	4.362	4.309	4.254	4.199	4.142	
8	4.200	4.101	4.000	3.947	3.894	3.840	3.784	3.728	3.670	
9	3.888	3.789	3.687	3.634	3.580	3.525	3.449	3.392	3.333	
10	3.621	3.522	3.419	3.366	3.311	3.255	3.198	3.140	3.080	
11	3.430	3.330	3.226	3.173	3.118	3.061	3.004	2.944	2.883	
12	3.277	3.177	3.073	3.019	2.963	2.906	2.848	2.787	2.725	
13	3.153	3.053	2.948	2.893	2.837	2.780	2.720	2.659	2.595	
14	3.050	2.949	2.844	2.789	2.732	2.674	2.614	2.552	2.487	
15	2.963	2.862	2.756	2.701	2.644	2.585	2.524	2.461	2.395	
16	2.889	2.788	2.681	2.625	2.568	2.509	2.447	2.383	2.316	
17	2.825	2.723	2.616	2.560	2.502	2.442	2.380	2.315	2.247	
18	2.769	2.667	2.559	2.503	2.445	2.384	2.321	2.256	2.187	
19	2.720	2.617	2.509	2.452	2.394	2.333	2.270	2.203	2.133	
20	2.676	2.573	2.465	2.408	2.349	2.287	2.223	2.156	2.085	
21	2.637	2.534	2.425	2.368	2.309	2.246	2.182	2.114	2.042	
22	2.602	2.498	2.389	2.332	2.272	2.210	2.145	2.076	2.003	
23	2.570	2.467	2.357	2.299	2.239	2.176	2.111	2.041	1.968	
24	2.541	2.437	2.327	2.269	2.209	2.146	2.080	2.010	1.935	
25	2.515	2.411	2.301	2.242	2.182	2.118	2.052	1.981	1.906	
26	2.491	2.387	2.276	2.217	2.157	2.093	2.026	1.954	1.878	
27	2.469	2.364	2.253	2.194	2.133	2.069	2.002	1.930	1.853	
28	2.448	2.344	2.232	2.174	2.112	2.048	1.980	1.907	1.829	
29	2.430	2.325	2.213	2.154	2.092	2.028	1.959	1.886	1.807	
30	2.412	2.307	2.195	2.136	2.074	2.009	1.940	1.866	1.787	
40	2.288	2.182	2.068	2.007	1.943	1.875	1.803	1.724	1.637	
60	2.169	2.061	1.945	1.882	1.815	1.744	1.667	1.581	1.482	
120	2.055	1.945	1.825	1.760	1.690	1.614	1.530	1.433	1.310	
Inf	1.945	1.833	1.709	1.640	1.566	1.484	1.388	1.268	1.000	