

A lire attentivement avant de commencer

Le sujet (noté sur 100 points) est découpé de la façon suivante :

Chimie générale (20 points)	2
Techniques analytiques (45 points)	7
Chromatographie	8
Spectrométrie de Masse	16
Spectrométrie infra-rouge (voir table en annexe)	19
Résonance Magnétique Nucléaire (RMN).....	21
Exercice (voir tables en annexe)	22
Diffraction des rayons X (DRX) (table trigonométrique en annexe)	24
Hygiène et sécurité (15 points)	30
Environnement métier (5 points).....	35
Anglais technique (15 points).....	36
Annexes	43
Tableau périodique	43
Table trigonométrique	44
Table de correspondance en spectroscopie infra-rouge	45
Déplacement chimique RMN du ^1H	45

Veillez à bien répondre aux questions dans les cadres prévus à cet effet.

Chimie générale (20 points)

1. Rappeler l'équation de Beer-Lambert et les unités de chaque membre de l'équation. (1 point)

--

2. Convertir les données suivantes dans l'unité proposée (2 points)

170 nm	Å
45 nm	µm
298 K	°C
1 mole	molécules
Angle de 60°	radians
200 Pa	mbar
0,25 µmol.L ⁻¹	mmol.mL ⁻¹
2 cm x 8 cm	mm ²
0,35 µL	mm ³

1,7 10 ⁻⁵ mg	pg
2 643 m ²	ha
0,45 µmol	fmol
0,345 kg	mg
0.75 mmol.L ⁻¹	µmol.cm ³
2.10 ⁻⁶ mbar	Torr
0,65 m ³	L
15 min	sec
24 h	min

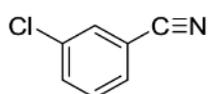
3. Donner pour chaque famille citée ci-dessous deux éléments en faisant partie (tableau périodique en annexe) (2 points)

Gaz rares		
Halogènes		
Alcalino-terreux		
Métalloïdes		

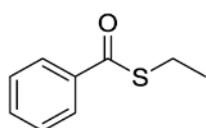
4. Quels sont les isotopes de l'hydrogène ? (1 point)

5. Attribuer une fonction chimique à une molécule (faire correspondre lettre et chiffre) (1,75 point)

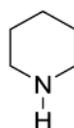
Acide carboxylique (1), ester (2), amine (3), amide (4), nitrile (5), thioester (6), lactone (7)



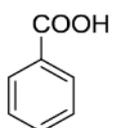
A



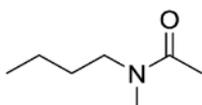
B



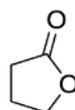
C



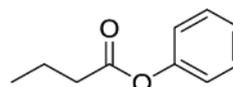
D



E



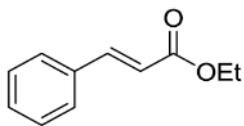
F



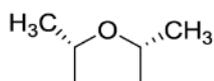
G

6. L'amine identifiée précédemment est-elle primaire, secondaire ou tertiaire ? (0,75 point)

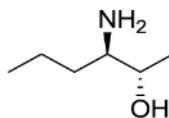
7. Préciser la stéréochimie des composés suivants. (2 points)



1. Z ou E



2. cis ou trans



3. syn ou anti



4. R ou S

1.

2.

3.

4.

8. Vous disposez d'une solution mère à 5 M et devez préparer 10 mL de solution à 1 M dans l'eau. Comment procédez-vous ? Détaillez le calcul. (1 point)

Le chlore naturel est un mélange de deux isotopes ^{35}Cl et ^{37}Cl dont les proportions relatives sont respectivement en nombre d'atomes 75% et 25%.

9. Calculer la masse molaire atomique du Chlore naturel. Détaillez le calcul. (1 point)

10. Combien de sortes de molécules de dichlore existe-t-il dans le dichlore naturel ? (1 point)

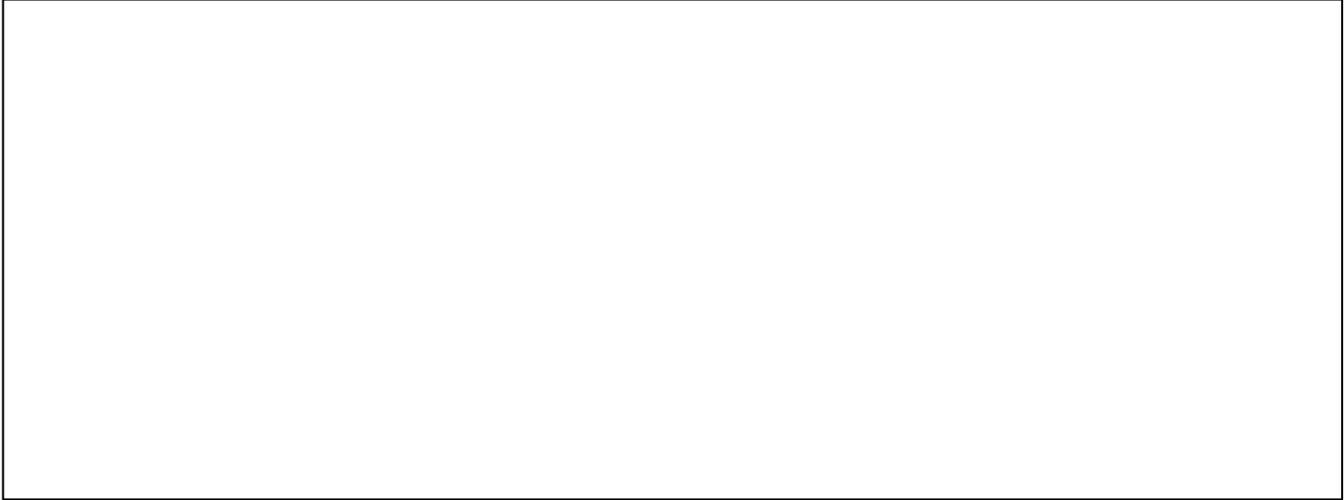
11. Quelles sont leurs masses molaires respectives ? (1 point)

12. Indiquer le nombre de protons, neutrons et d'électrons qui participent à la composition des structures suivantes : (1,5 points)

	Protons	Neutrons	Electrons
$^{18}_8\text{O}$			
$^{59}_{28}\text{Ni}$			
$^{18}_8\text{O}^{2-}$			
$^{35}_{17}\text{Cl}^-$			
$^{27}_{13}\text{Al}^{3+}$			

La maille d'un cristal de type diamant est cubique à faces centrées (cfc) dont quatre des huit sites tétraédriques sont occupés. A partir de ses informations, répondre aux questions 13 à 15.

13. Faire une représentation de la maille du cristal de type diamant. (1 point)



14. Déterminer le nombre d'atomes N de chacune des mailles. (1 point)

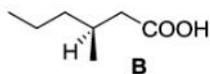
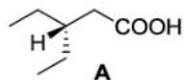


15. Un matériau à l'état solide peut être amorphe ou cristallin : définir ces deux états. Donner un exemple d'un matériau amorphe et d'un matériau cristallin. (2 points)



Techniques analytiques (45 points)

1. Quelle(s) technique(s) d'analyse permettrai(ent) de différencier les composés A et B ? Justifier pour chaque méthode (1 point)



- a. Analyse élémentaire b. spectrométrie de masse c. RMN ^{13}C d. RMN ^1H
e. polarimétrie (pouvoir rotatoire) f. diffraction des rayons X

Chromatographie

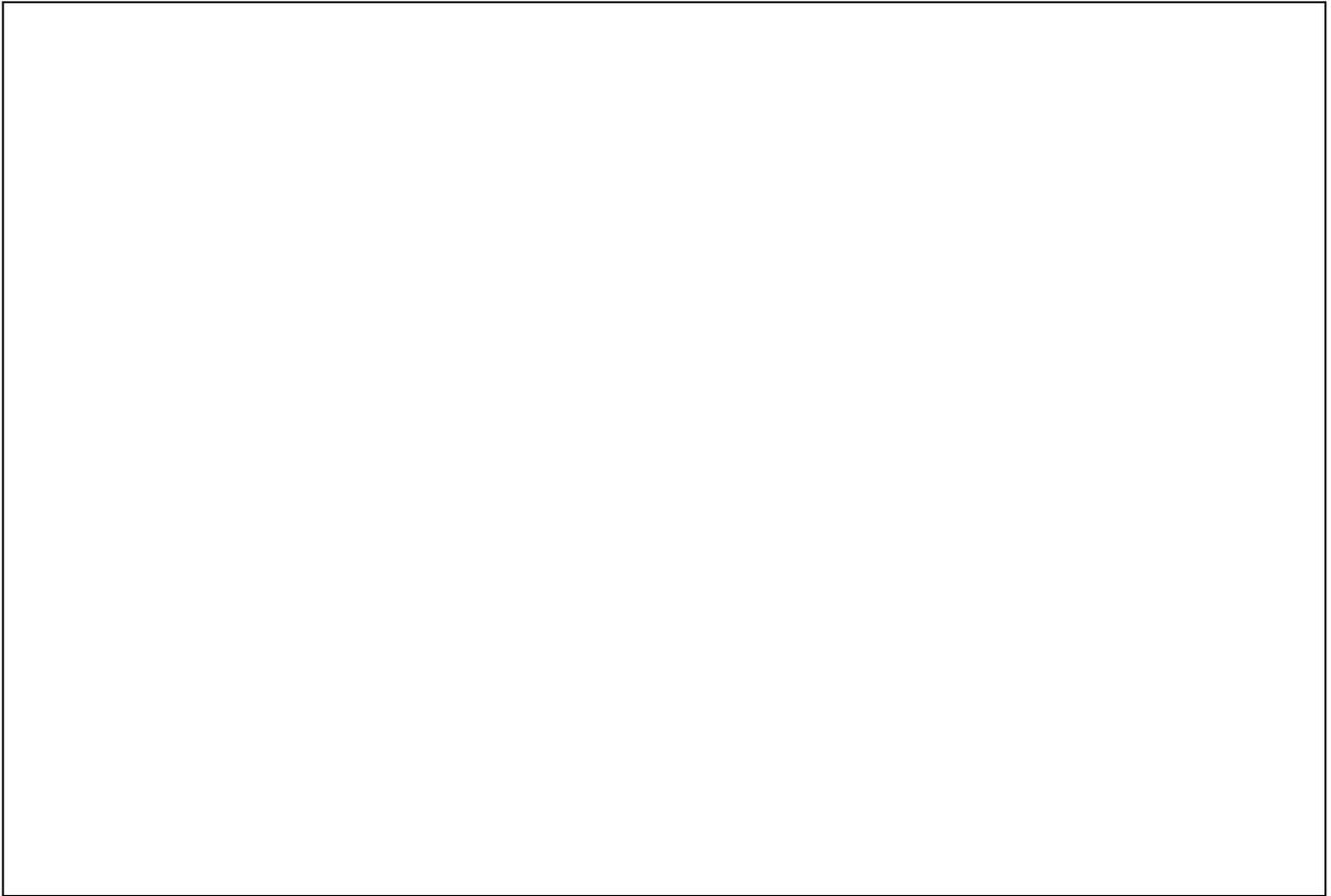
2. Citer 3 types de détecteurs pour une HPLC. (1 point)

3. Quel type de colonne est utilisé en HPLC lorsque l'on travaille en phase inverse ? en phase normale ? (1 point)

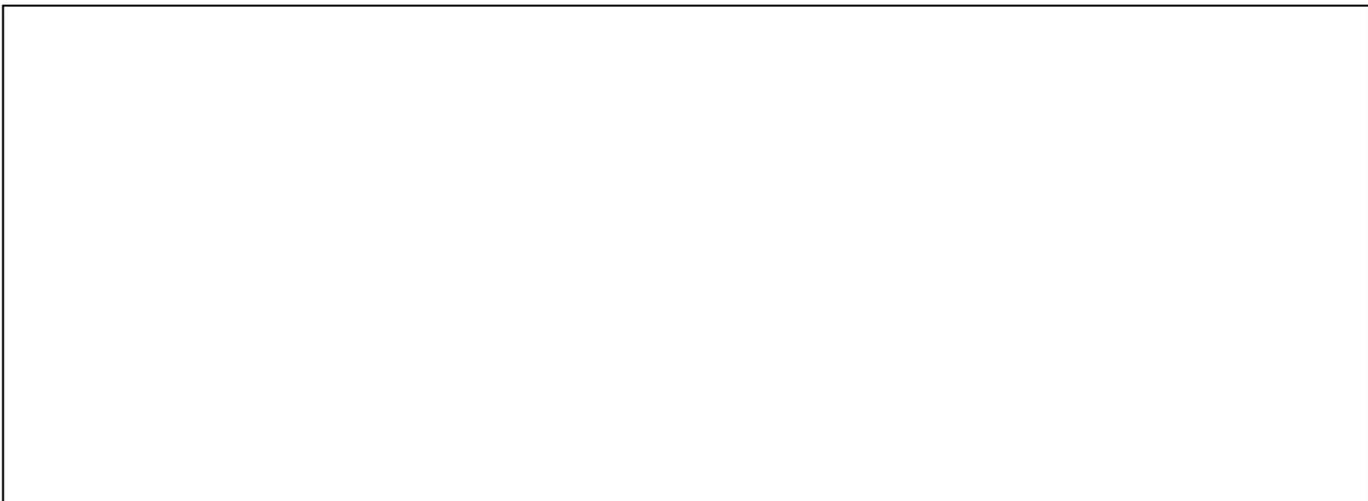
Phase inverse :

Phase normale :

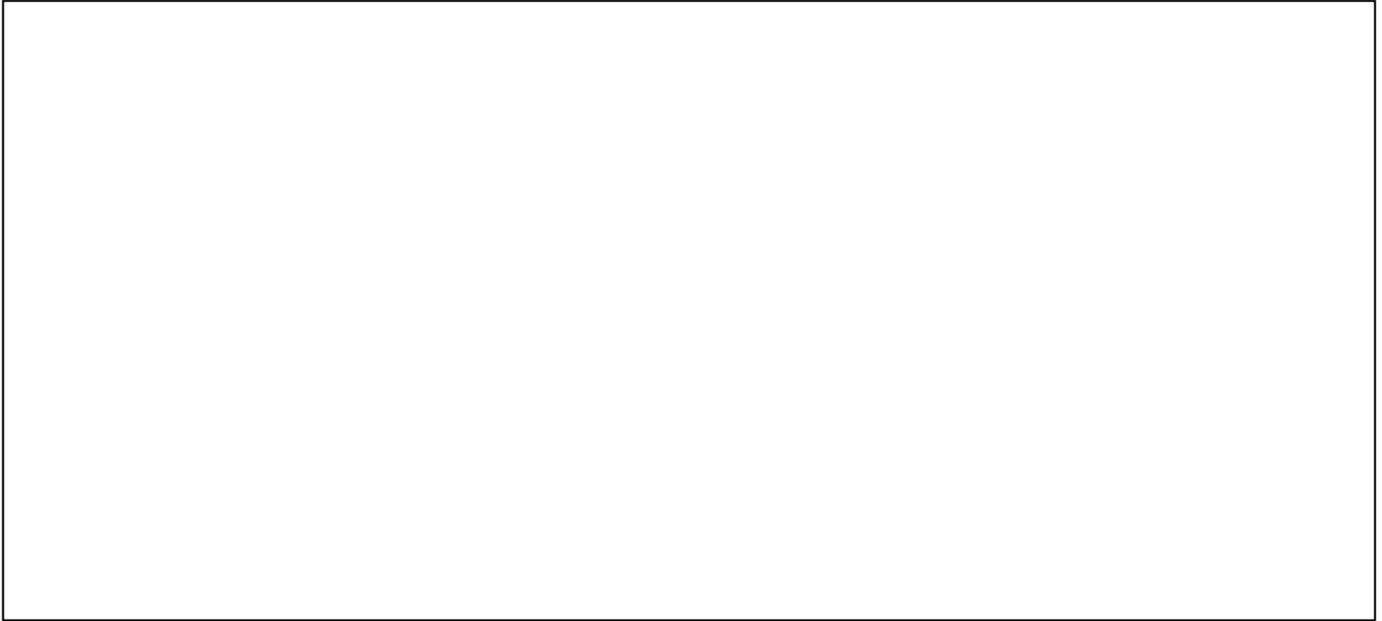
4. Que signifie DEDL ? Décrivez son principe. (1 point)



5. Citer deux solvants pouvant être utilisés comme phase mobile en phase inverse et les classer par ordre de polarité croissante. (1 point)



6. Que signifie « travailler en mode gradient » ? Donner un exemple dans le cas d'une analyse en phase normale. (1 point)

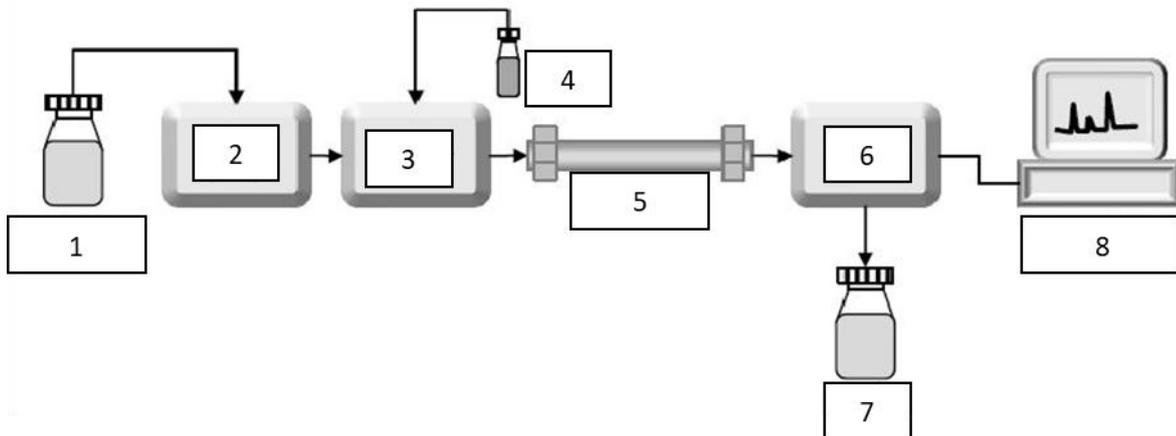


7. Sur une chaîne HPLC fonctionnant en mode isocratique, la pression oscille. Quelle peut être la cause et comment résolvez-vous cela ? (1 point)



8. La pression de votre chaîne HPLC est anormalement élevée. Quelle peut être la cause et comment résolvez-vous cela ? (1 point)

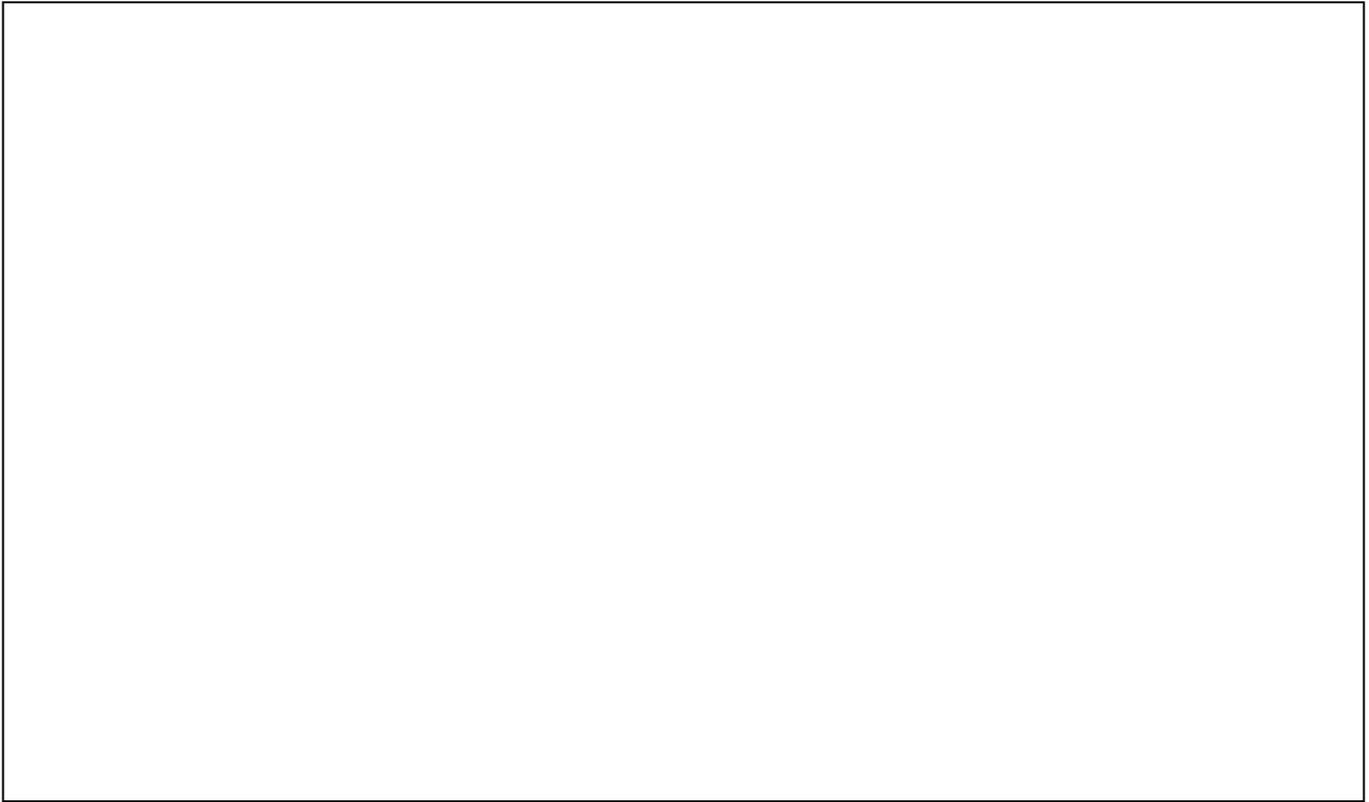
9. Nommer les 8 éléments du montage HPLC ci-dessous (1 point)



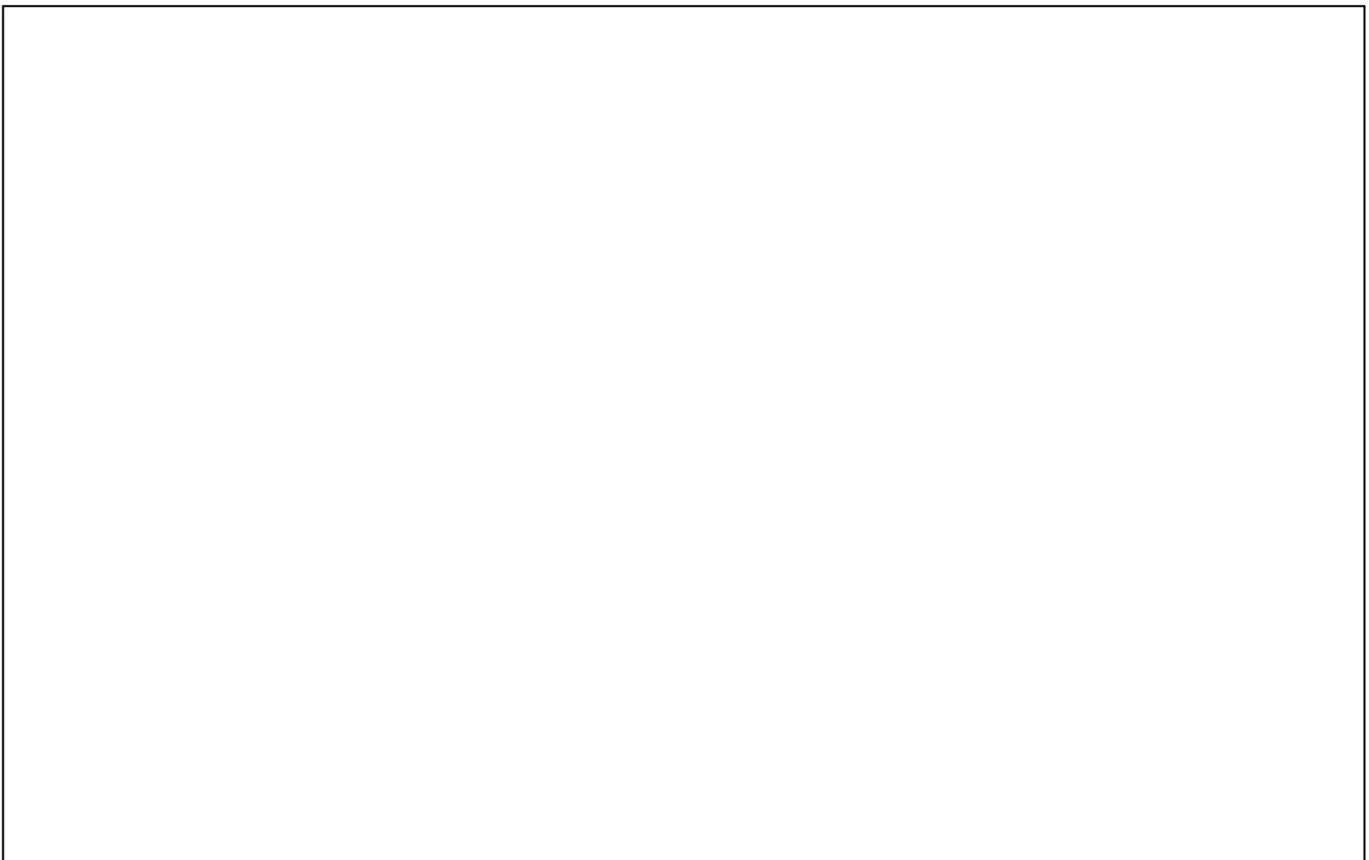
- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
- 7.
- 8.

10. Quels avantages présente l'utilisation de la chromatographie liquide haute performance par rapport à la chromatographie sur colonne ? Pourquoi utiliser les particules de petite taille dans la colonne ? (1 point)

11. Définir le temps de rétention et de quels paramètres dépend-il ? (1 point)

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the student to write their answer to question 11.

12. Dans la chromatographie en phase inverse, comment varie le temps de rétention d'une composante du mélange avec la polarité de ses molécules ? (1 point)

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the student to write their answer to question 12.

13. Le diagramme ci-dessous montre un résultat simplifié sur le détecteur, avec les pics pour deux composés X et Y. Qu'est-ce qu'on peut dire à propos des concentrations relatives de X et d'Y dans le mélange ? Justifiez. (1 point)



A large empty rectangular box with a black border, intended for the student to write their justification.

14. Le diagramme ci-dessous montre un pic pour le même composé enregistré lors de deux mesures différentes. Qu'est-ce qu'on peut dire à propos des concentrations de solutions du composé lors de chacune de ces mesures ? Justifiez. (1 point)



A large empty rectangular box provided for the student to write their answer and justification.

Spectrométrie de Masse

15. Citer 3 sources d'ionisation et donner les types d'ions obtenus pour chacune. (1 point)

16. Décrire le principe de l'une d'entre elles. Vous pouvez vous aider d'un schéma. (1 point)

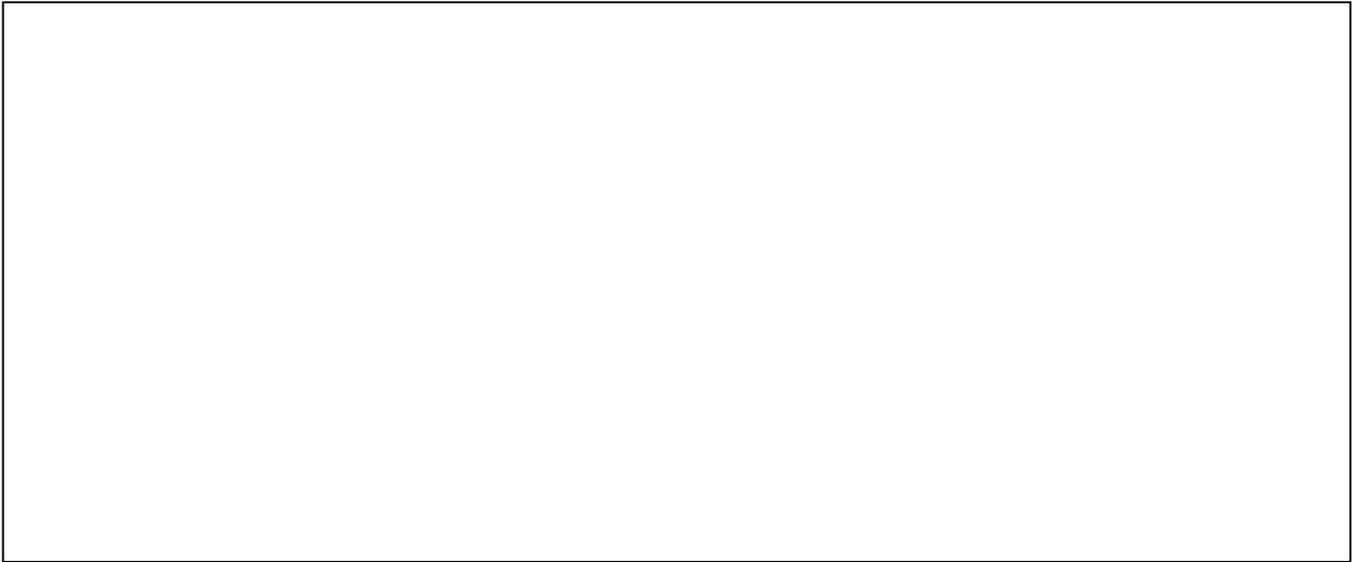
17. Citer 3 types d'analyseurs, décrire leur principe (à l'aide d'un schéma si besoin) et préciser s'ils permettent de faire de la haute ou de la basse résolution. (1 point)

1.

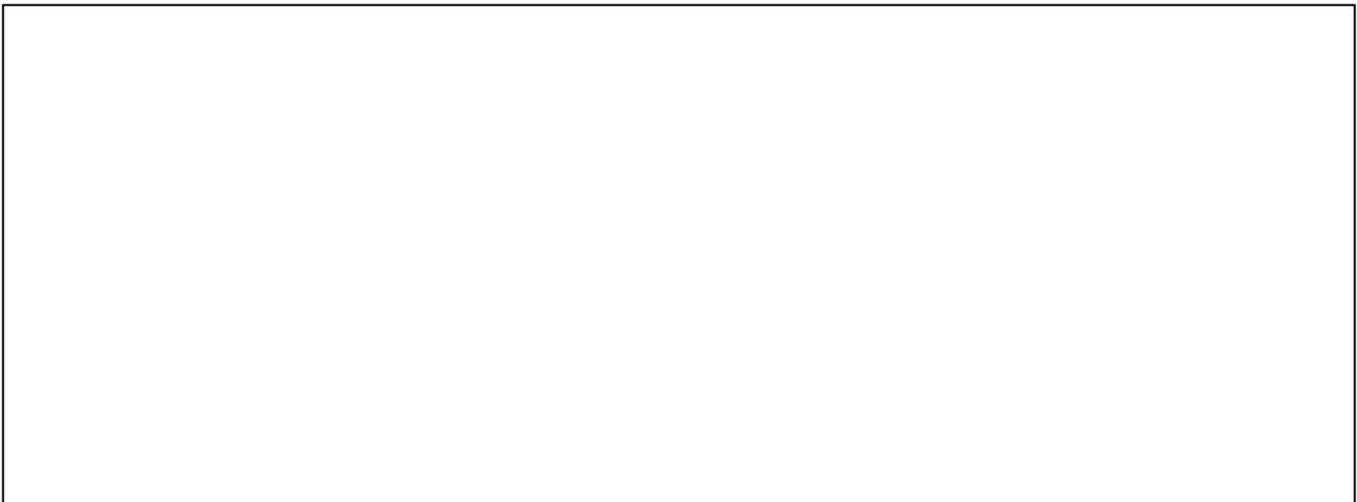
2.

3.

18. Quel est l'allure du massif isotopique d'un composé de formule brute C_xH_yCl ? Justifier. (1 point)



19. Que pouvez-vous déduire de la formule brute d'un ion M^+ ayant une masse impaire ? (1 point)

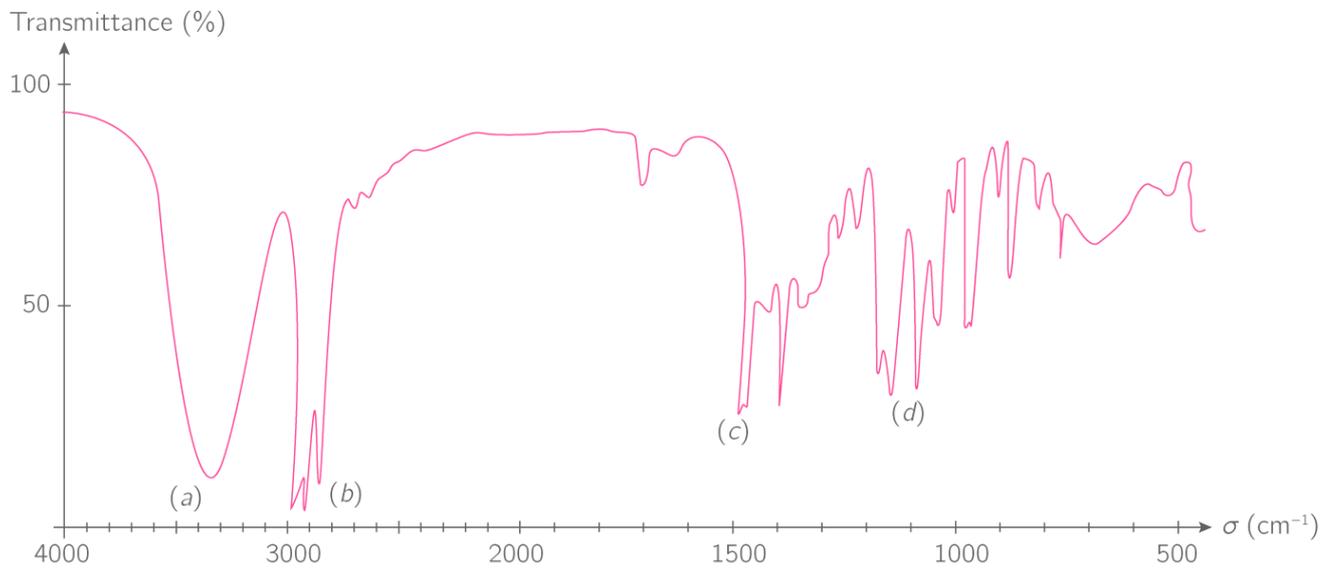


20. En travaillant en ESI^+ , un ion ayant la valeur $M+23$ est observé. A quoi correspond-il ? (1 point)



Spectrométrie infra-rouge (voir table en annexe)

Un extrait du spectre infrarouge de l'hexan-2-ol est donné ci-dessous.



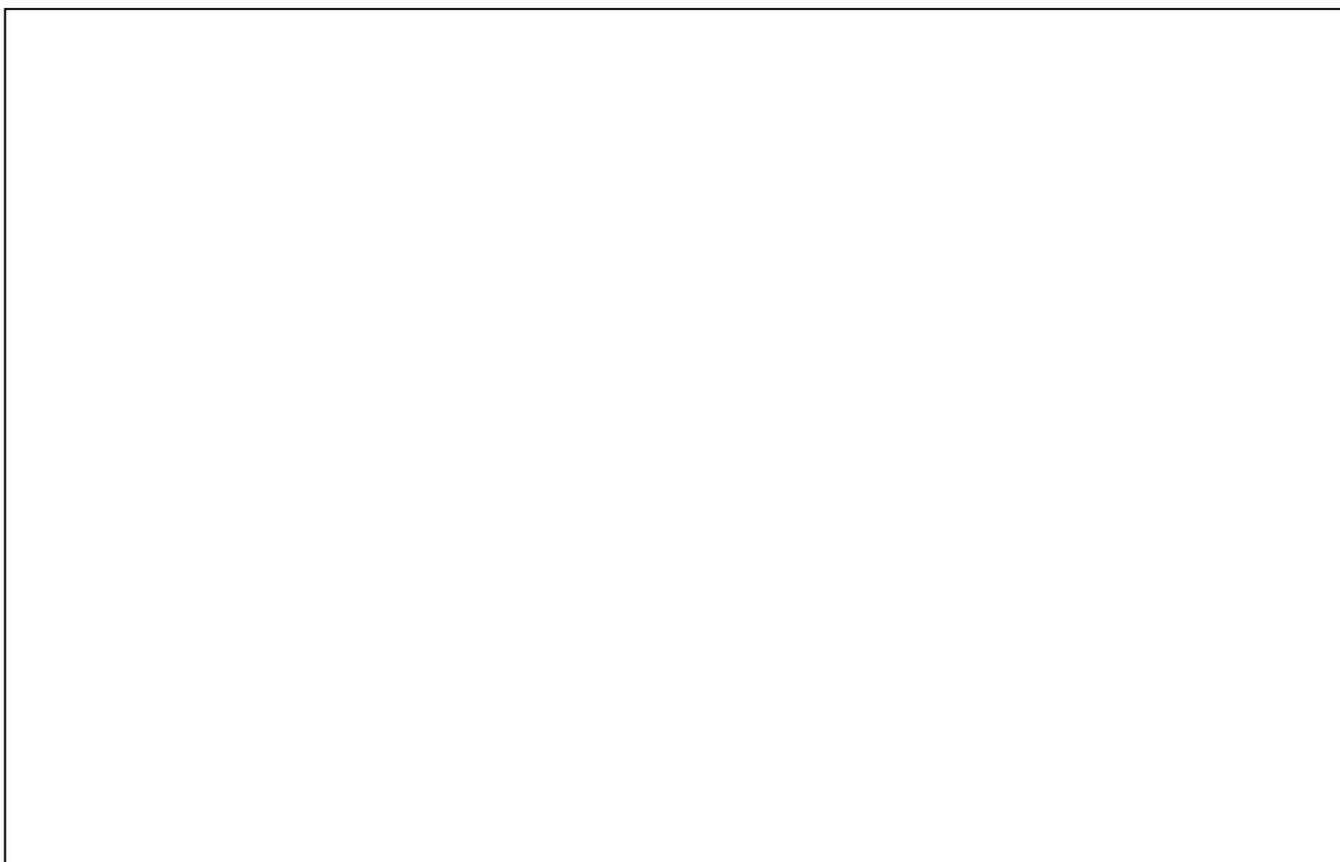
21. Donner le principe de la spectrométrie infra-rouge. (1 point)

22. Quels états de la matière peut-on analyser par spectrométrie infra-rouge ? (1 point)

23. Ecrire la formule semi-développée de l'hexan-2-ol. En déduire le groupe caractéristique et la fonction chimique de ce composé. (1 point)



24. Identifier alors les bandes d'adsorption notées (a), (b), (c) et (d). (1 point)



Résonance Magnétique Nucléaire (RMN)

25. Quelle opération mathématique permet d'obtenir un spectre à partir de la FID ? (1 point)

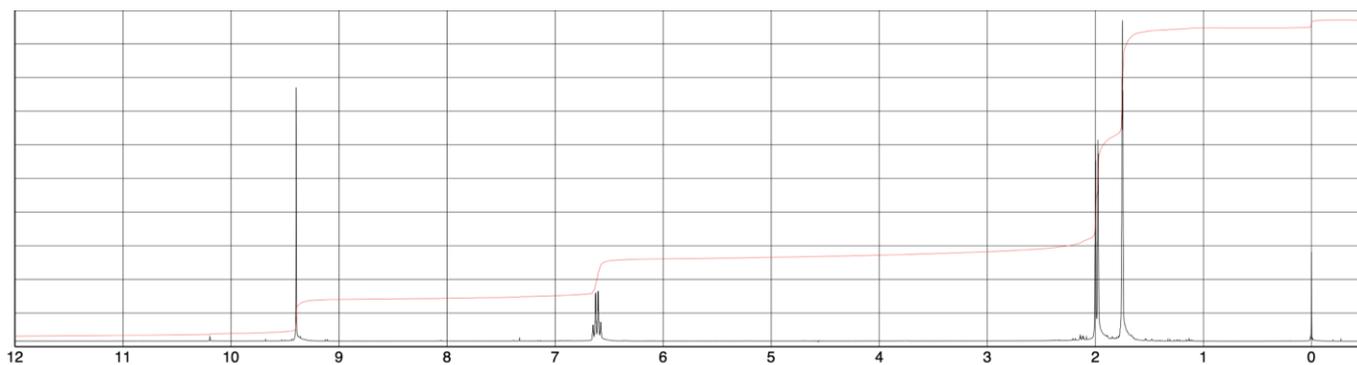
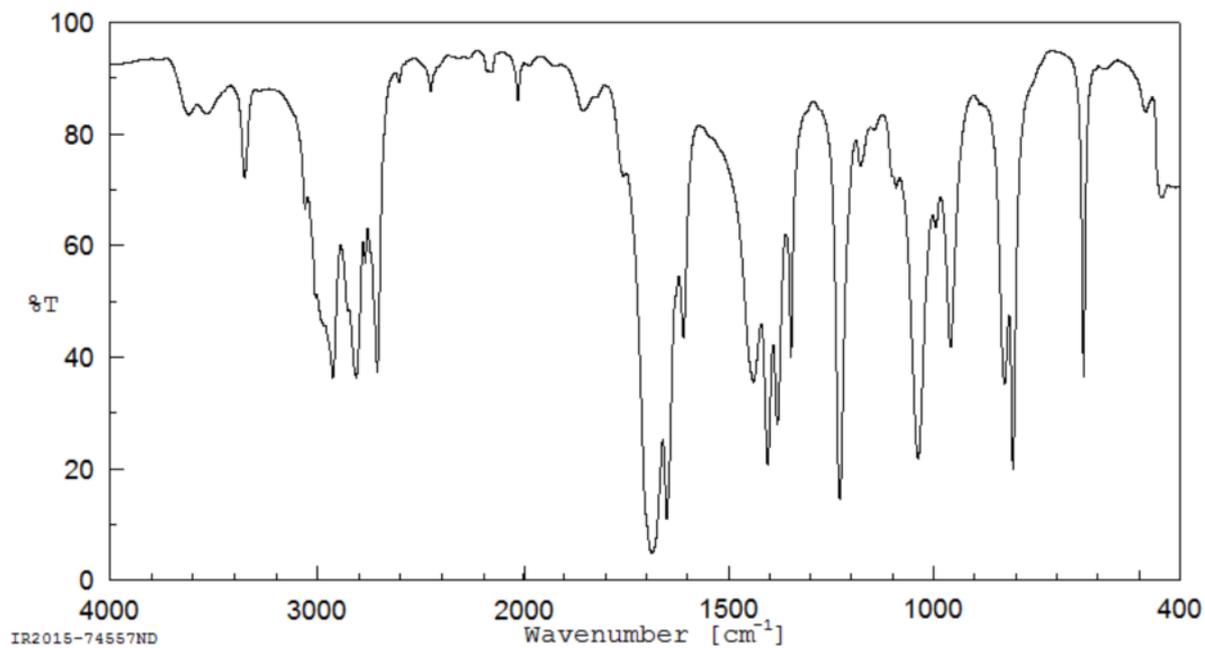
26. Pourquoi utilise-t-on des solvants deutérés ? (1 point)

27. A quoi sert le tétraméthylsilane (TMS) ? (1 point)

28. Citer les deux liquides cryogéniques utilisés pour l'aimant supraconducteur d'un spectromètre RMN. (1 point)

Exercice (voir tables en annexe)

Voici les spectres IR et RMN du ^1H enregistrés de la molécule $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}$.



Le tableau ci-dessous est une aide et ne sera pas noté

δ (ppm)	Multiplicité	Nombre de ^1H	Nombre de voisins
9.403	Singulet		
6.628	Quadruplet		
1.991	Doublet		
1.749	Singulet		

29. Quelle information donne la multiplicité d'un signal RMN ? (1 point)

30. Donner la formule développée de la molécule. (1 point)



Diffraction des rayons X (DRX) (table trigonométrique en annexe)

31. Quel est le principe de la DRX ? (1 point)

32. Comment s'effectue une mesure de DRX ? (1 point)

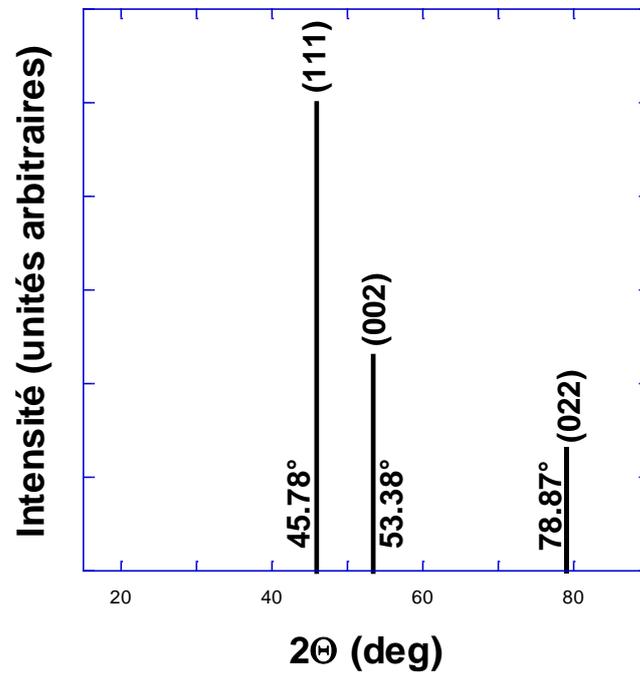
33. Quels sont les 3 états cristallins de la matière ? Parmi les trois, lequel ou lesquels sont adaptés aux mesures de la diffraction ? Pourquoi ? (1 point)

34. Quelles informations sur des matériaux peut-on obtenir à partir de mesures de DRX ? (1 point)

35. Quel genre de préparation peuvent nécessiter des échantillons pour une mesure de la DRX ? (1 point)

36. Rappeler la relation de Bragg en indiquant à quoi correspond chaque grandeur. (1 point)

37. Le diagramme de diffraction des rayons X de Fe cubique est présenté sur la figure ci-dessous. Les positions exactes de pics de diffraction sont présentées sur le graph pour la longueur d'onde $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$. Calculer la distance inter-réticulaire correspondant au plan (002) et le paramètre de maille de fer. (Table trigonométrique en annexe) (1 point)



Concepts de qualité appliqués aux techniques d'analyse chimique

38. Décrivez en quelques lignes la fonction d'un cahier de laboratoire. (1 point)

39. A quelle périodicité doit-il être rempli ? (1 point)

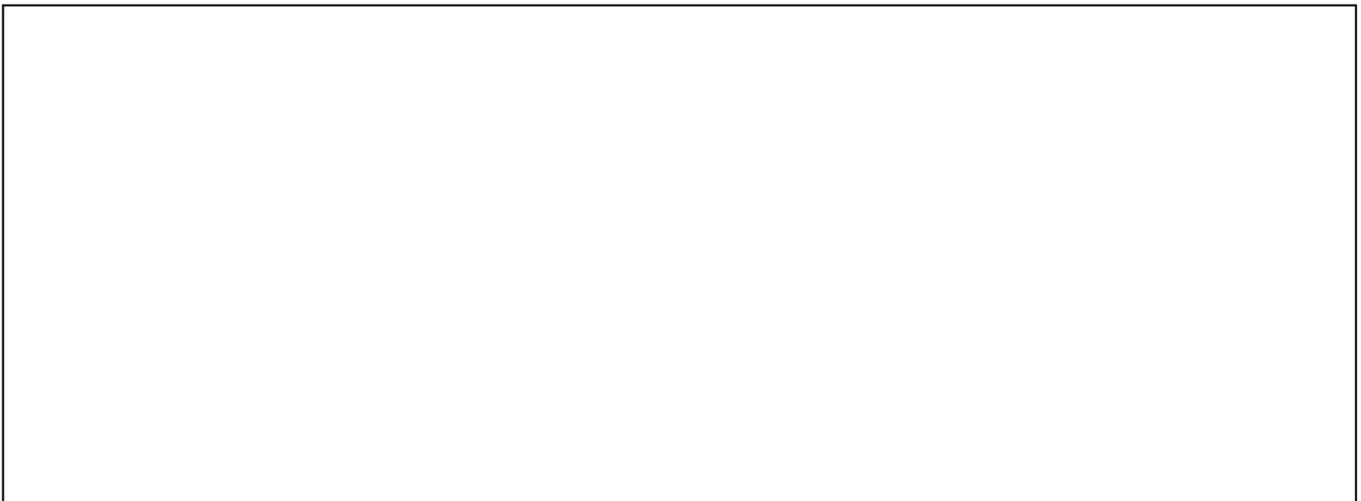
40. Si vous quittez le laboratoire, à qui appartient le cahier ? (1 point)

41. Qu'est-ce que la métrologie ? (1 point)

42. En quoi consiste la qualification des performances d'un appareil ? (1 point)



43. Citer 3 tests à effectuer pour qualifier une chaîne HPLC équipée d'un détecteur UV. (1 point)



44. Donner une définition de la justesse d'un résultat. Vous pouvez vous aider d'un schéma. (1 point)



45. Que peut-on dire d'un appareil qui est précis ? Vous pouvez vous aider d'un schéma. (1 point)

A large empty rectangular box with a thin black border, intended for drawing a diagram to illustrate the concept of precision in a measuring instrument.

Gestion du stock de produits

L'ensemble des chercheurs et ingénieurs du laboratoire utilise 43 g d'un produit chimique par semaine. On souhaite constituer un stock de sorte à disposer de ce produit en ayant 4 mois d'avance. Le produit est vendu en flacon de 110 g au prix de 234 Euros l'unité. (Considérer que 1 an contient 52 semaines)

5. Combien de flacons doit-on commander pour approvisionner le stock ? Déterminez le calcul. (1,5 points)

6. Quel est le montant du budget consacré à l'achat de ce produit sur 2 ans ? Déterminez le calcul. (1,5 points)

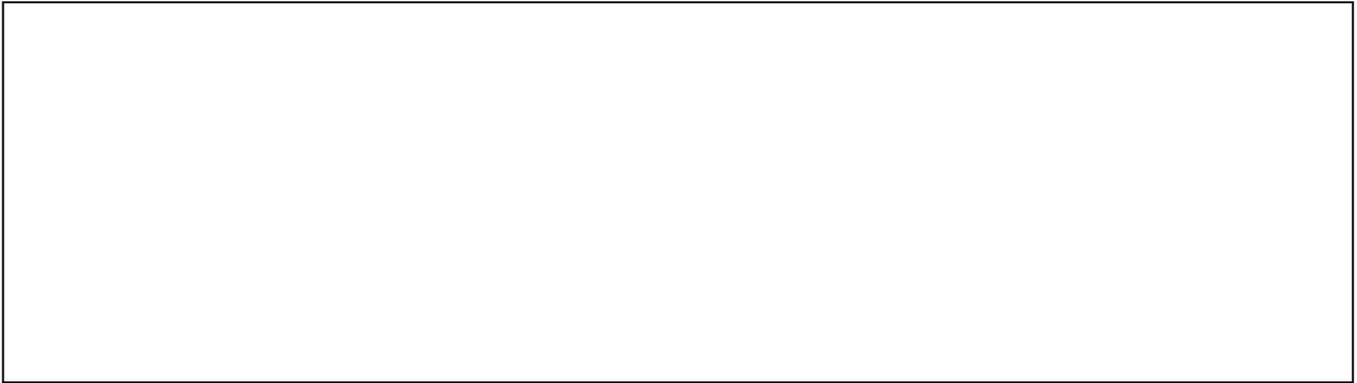
7. Quels moyens peuvent être mis en œuvre pour gérer efficacement l'approvisionnement du stock des produits chimiques ? (1 point)

Risques liés à la manipulation de produits chimiques (pictogrammes)

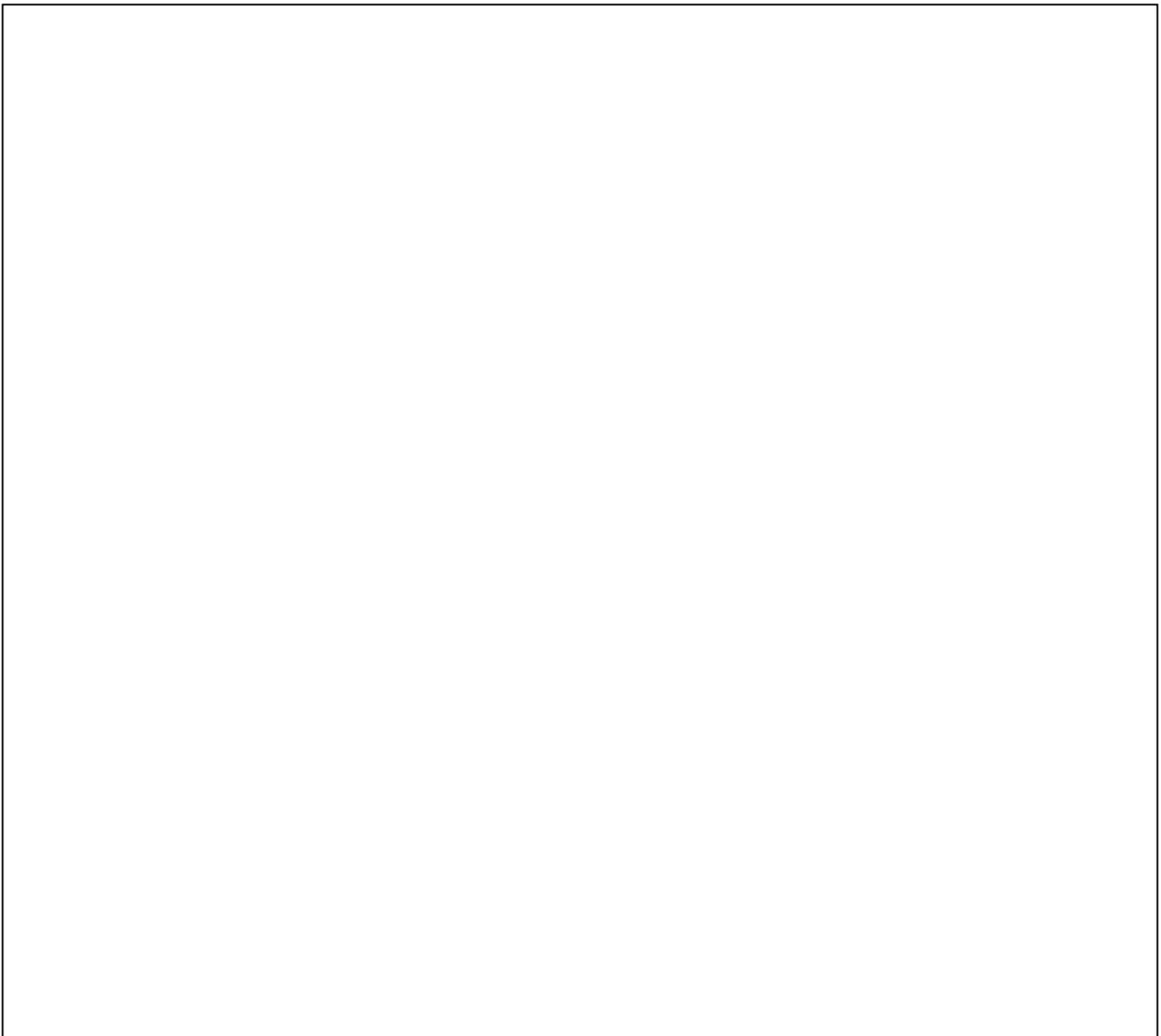
8. Compléter le tableau suivant (2,5 points)

Pictogramme	Signification	Symptômes -Risques	Consignes de sécurité
			
			
			
			
			

9. Citez deux risques liés à la manipulation d'azote liquide. (1 point)



10. Citer 4 exemples de protection individuelle et 4 exemples de protection collective lors de la manipulation des produits chimiques. (2 points)



Environnement métier (5 points)

1. Que signifie le sigle CNRS ? (1 point)

2. À l'Université et au CNRS, à quelle catégorie de la fonction publique appartient le corps des Assistants-Ingénieurs ? (1 point)

3. Vous postulez pour un corps d'assistants ingénieurs. Quels autres corps peut-on trouver dans l'enseignement supérieur et la recherche ? Classez-les de manière hiérarchique et par catégorie de fonction publique (A, B ou C) (2 points)

4. Que signifient les acronymes suivants ? (1 point)

BAP

UMR

ITRF

Anglais technique (15 points)

Partie A:

1. Ecrivez en anglais une demande par courrier électronique de devis à un fournisseur de produits chimiques pour un des solvants utilisés dans HPLC. (2 points)

Partie B: Veuillez répondre en français aux différentes questions ci-dessous. Les réponses sont présentes en anglais dans les différents documents ci-après sauf pour les questions 8 et 9

Extraction and Purification of Glucoraphanin by Preparative High-Performance Liquid Chromatography (HPLC)

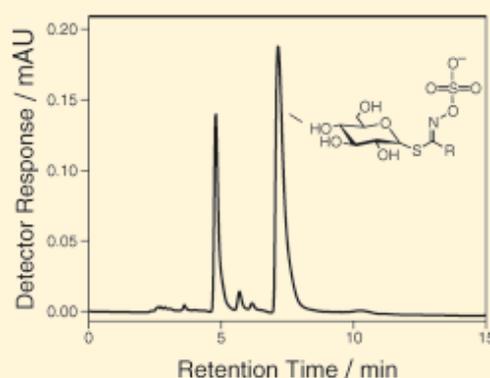
Iris Lee and Mary C. Boyce*

School of Natural Sciences, Edith Cowan University, 270 Joondalup Dve., Joondalup 6027, Perth, Western Australia, Australia

S Supporting Information

ABSTRACT: A student activity that focuses on the isolation of glucoraphanin from broccoli using preparative high-performance liquid chromatography (HPLC) is presented here. Glucoraphanin is a glucosinolate, whose byproducts are known to possess anticancer properties. It is present naturally at high levels in broccoli and other *Brassica* vegetables. This activity has students practicing and developing a number of skills including liquid extraction; cleanup by solid-phase extraction; analytical HPLC with diode array detection to identify the peak of interest; and preparative HPLC coupled with a fraction collector to isolate the glucoraphanin fraction. It also represents an authentic application of preparative HPLC as glucoraphanin is not readily available from the main chemical suppliers.

KEYWORDS: Upper-Division Undergraduate, Analytical Chemistry, Laboratory Instruction, Hands-On Learning/Manipulatives, Chromatography, Food Science, HPLC, Plant Chemistry, UV-vis Spectroscopy



2. Qu'est-ce qu'un « laboratory experiment » ? (0,5 point)

3. Quelle molécule est purifiée ? A-t-elle un intérêt biologique ? (1 point)

4. Quelles sont les techniques utilisées ? (1 point)

scan the major peaks knowing that glucoraphanin has a maximum absorbance at 230 nm and is expected to be a major component. Students also compare the chromatograms for the extracts that had an SPE cleanup step with those that had no cleanup step and comment on the merit or otherwise of the step.

In week 2, the students set up the preparative HPLC and the fraction collector to collect the glucoraphanin fraction. Students then work out at what time and for how long they should begin to collect the glucoraphanin peak. They also collect fractions before and after the glucoraphanin fraction. Having collected a set of fractions, the students then use the analytical HPLC to confirm that the fraction they have identified as containing glucoraphanin actually does contain it. If it does not, then they check the fractions on either side. In general, it takes students some time to optimize the timing and length of the fraction to be collected.

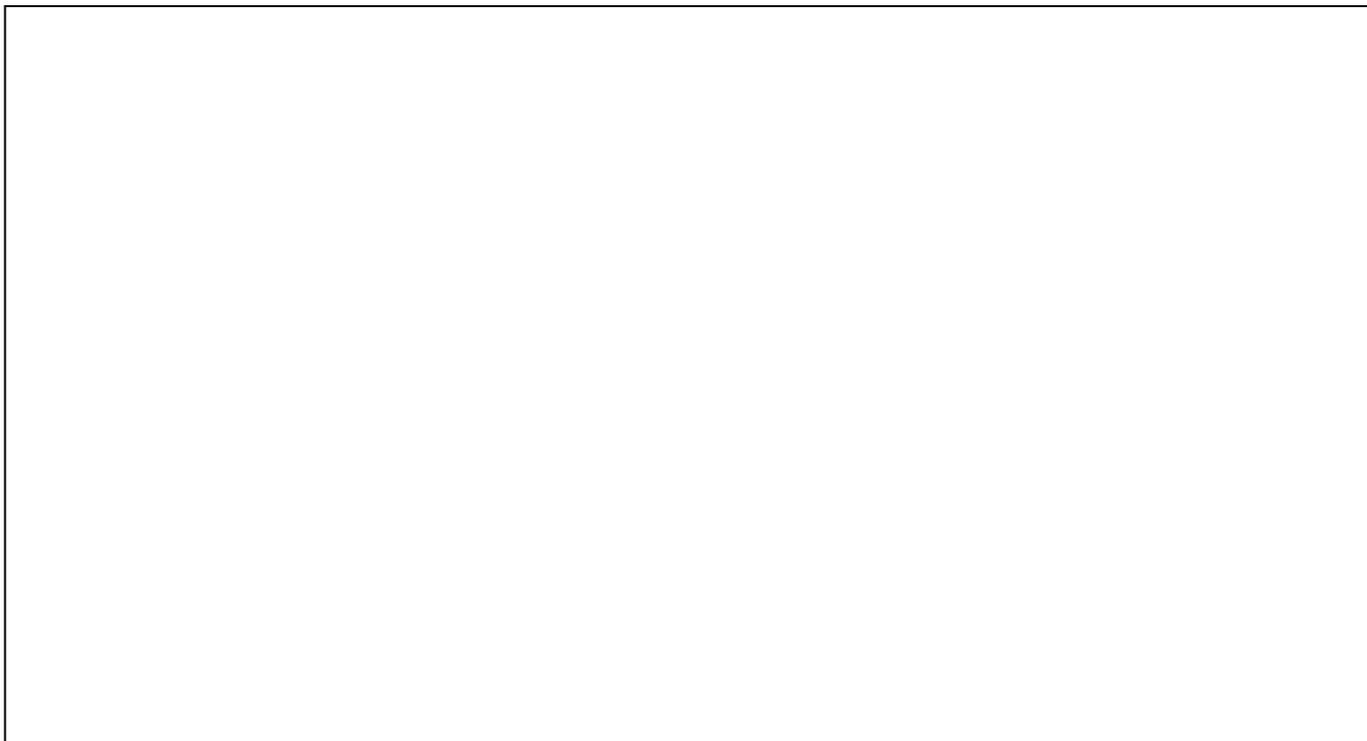
As this laboratory activity requires each group to have access to two HPLC units (one fitted with a preparative column and the other with an analytical column), particularly in the second week, this extended activity is run concurrently with other extended activities that require the use of other equipment, typically gas chromatography, capillary electrophoresis, and ion chromatography. On any given week only one group is completing the HPLC activity.

■ EXPERIMENTAL PROCEDURE

The activity is divided into two 4 h laboratory sessions, and the students work in small groups (typically 3 students per group). In week 1, the students obtain a crude product from broccoli seeds by liquid extraction. As solid-phase extraction (SPE) is recommended prior to preparative HPLC of glucoraphanin, the students completed an SPE step on a portion of their crude extract. The extracts (crude and SPE extracts) are then analyzed by analytical HPLC equipped with a diode array detector (DAD). The students identify the glucoraphanin peak by using the DAD to

5. Chaque technique utilisée a un rôle bien précis, décrivez l'enchaînement des différentes purifications et leur rôle sous forme d'un diagramme général. (2,5 points)

6. Pourquoi utiliser une colonne préparative et une colonne analytique en HPLC ? (1 point)



5. Capillary electrophoresis as an alternative to analytical HPLC

Capillary electrophoresis can be used as an alternative to analytical HPLC for confirming the presence of glucoraphanin in the fractions.

CE Instrumentation and separation conditions:

The students confirm the presence of glucoraphanin in the fractions on Hewlett Packard 3D CE (Waldbron, Germany) and controlled by Agilent Chemstation software. The separation is carried out in an uncoated fused silica capillary (Polymicro Technology, Phoenix AZ) of length 60 cm x 50 μm internal diameter (i.d.) with an effective length of 52 cm. The separation is performed at 30 °C and +30 kV. The sample is loaded onto the capillary by pressure injection at 50 mbar for 5 s. The UV-Vis diode array detector is set at 230 nm. **The capillaries were preconditioned daily by flushing with 0.1 M NaOH (5 min), water (5 min) followed by buffer (5 min).** Between runs, the capillary is washed with water (2 min) followed by running buffer (2 min). The running buffer (mobile phase) consisted of 20 mM sodium tetraborate and 50 mM sodium cholate. Data is collected and processed by Agilent Chemstation software. Glucoraphanin elutes at approximately 5 minutes (Figure 2).

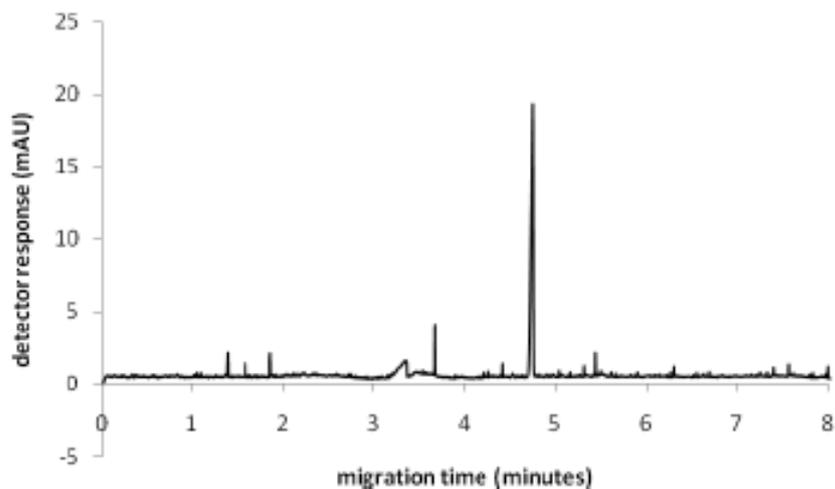


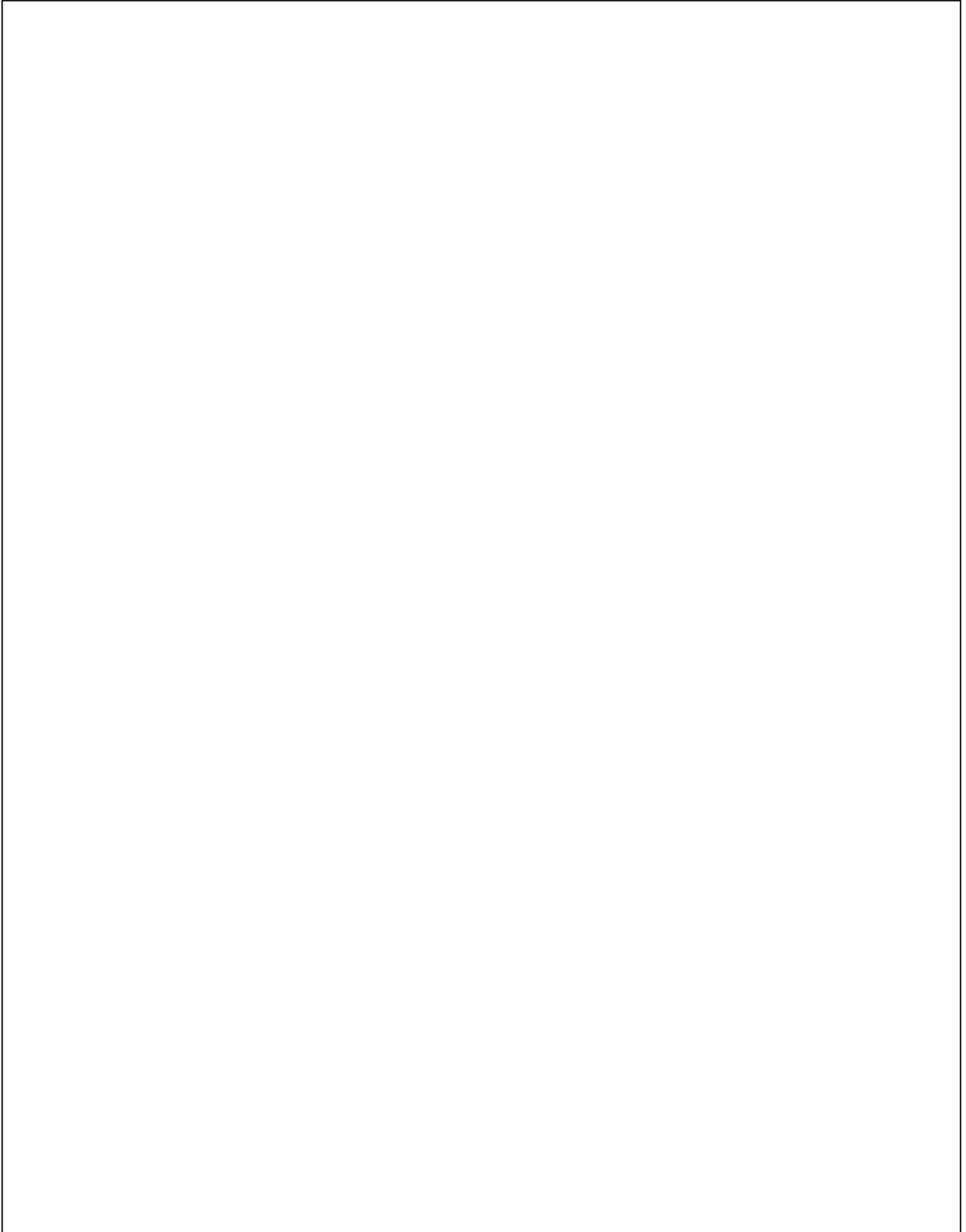
Figure 2 Separation of glucoraphanin fraction using CE

7. Quelle méthode alternative à l'HPLC est décrite ci-dessus ? (0,5 point)

8. Comment fonctionne le détecteur de cette méthode alternative ? (0,5 point)

9. Pourriez-vous utiliser la même méthode sur la molécule désulfatée ? Justifiez (1 point)

10. Traduire le mode opératoire ci-dessus (cf 5.Capillary electrophoresis as an alternative to analytical HPLC) (5 points)



Annexes

Tableau périodique

Tableau périodique des éléments

Groupe → 1 2 13 14 15 16 17 18
 IA IIA IIIA IVA VA VIA VIIA VIIIA

Période ↓

1 ← nom de l'élément
 ← numéro atomique
 ← symbole chimique
 ← masse atomique relative ou [celle de l'isotope le plus stable]

primordial désintégration d'autres éléments synthétique

1	hydrogène 1 H 1,00794																	hélium 2 He 4,002602						
2	lithium 3 Li 6,941	béryllium 4 Be 9,012182																	bore 5 B 10,811	carbone 6 C 12,0107	azote 7 N 14,00674	oxygène 8 O 15,9994	fluor 9 F 18,9984032	néon 10 Ne 20,1797
3	sodium 11 Na 22,98976928	magnésium 12 Mg 24,3050																	aluminium 13 Al 26,9815386	silicium 14 Si 28,0855	phosphore 15 P 30,973762	soufre 16 S 32,066	chlore 17 Cl 35,4527	argon 18 Ar 39,948
4	potassium 19 K 39,0983	calcium 20 Ca 40,078	scandium 21 Sc 44,955912	titane 22 Ti 47,867	vanadium 23 V 50,9415	chrome 24 Cr 51,9961	manganèse 25 Mn 54,938045	fer 26 Fe 55,845	cobalt 27 Co 58,933195	nickel 28 Ni 58,6934	cuivre 29 Cu 63,546	zinc 30 Zn 65,39	gallium 31 Ga 69,723	germanium 32 Ge 72,61	arsenic 33 As 74,92160	sélénium 34 Se 78,96	brome 35 Br 79,904	krypton 36 Kr 83,80						
5	rubidium 37 Rb 85,4678	strontium 38 Sr 87,62	yttrium 39 Y 88,90585	zirconium 40 Zr 91,224	niobium 41 Nb 92,90638	molybdène 42 Mo 95,94	technétium 43 Tc 97,9072	ruthénium 44 Ru 101,07	rhodium 45 Rh 102,90550	palladium 46 Pd 106,42	argent 47 Ag 107,8682	cadmium 48 Cd 112,411	indium 49 In 114,818	étain 50 Sn 118,710	antimoine 51 Sb 121,760	tellure 52 Te 127,60	iode 53 I 126,90447	xénon 54 Xe 131,29						
6	césium 55 Cs 132,9054519	baryum 56 Ba 137,327	lanthanides 57-71	hafnium 72 Hf 178,49	tantale 73 Ta 180,94788	tungstène 74 W 183,84	rhénium 75 Re 186,207	osmium 76 Os 190,23	iridium 77 Ir 194,217	platine 78 Pt 195,084	or 79 Au 196,966569	mercure 80 Hg 200,59	thallium 81 Tl 204,3833	plomb 82 Pb 207,2	bismuth 83 Bi 208,98040	polonium 84 Po [209,9824]	astate 85 At [209,9871]	radon 86 Rn [222,0176]						
7	francium 87 Fr [223,0197]	radium 88 Ra [226,0254]	actinides 89-103	rutherfordium 104 Rf [263,1125]	dubnium 105 Db [262,1144]	seaborgium 106 Sg [266,1219]	bohrium 107 Bh [264,1247]	hassium 108 Hs [269,1341]	meitnerium 109 Mt [268,1388]	darmstadtium 110 Ds [272,1463]	roentgenium 111 Rg [272,1535]	copernicium 112 Cn [277]	ununtrium 113 Uut [284]	ununquadium 114 Uuq [289]	ununpentium 115 Uup [288]	ununhexium 116 Uuh [292]	ununseptium 117 Uus [292]	ununoctium 118 Uuo [294]						
				lanthane 57 La 138,90547	cérium 58 Ce 140,116	praseodyme 59 Pr 140,90765	néodyme 60 Nd 144,242	prométhium 61 Pm [144,9127]	samarium 62 Sm 150,36	europium 63 Eu 151,964	gadolinium 64 Gd 157,25	terbium 65 Tb 158,92535	dysprosium 66 Dy 162,500	holmium 67 Ho 164,93032	erbium 68 Er 167,259	thulium 69 Tm 168,93421	ytterbium 70 Yb 173,04	lutécium 71 Lu 174,967						
				actinium 89 Ac [227,0277]	thorium 90 Th 232,03806	protactinium 91 Pa 231,03588	uranium 92 U 238,02891	neptunium 93 Np [237,0482]	plutonium 94 Pu [244,0642]	américium 95 Am [243,0614]	curium 96 Cm [247,0703]	berkélium 97 Bk [247,0703]	californium 98 Cf [251,0796]	einsteinium 99 Es [252,0830]	fermium 100 Fm [257,0951]	mendélévium 101 Md [258,0984]	nobélium 102 No [259,1011]	lawrencium 103 Lr [262,110]						

Table trigonométrique

**TABLE TRIGONOMETRIQUE
DE DEGRÉ EN DEGRÉ**

Degrés	Sinus	Tangentes	Cotangentes	Cosinus	
1	0,017 5	0,017 5	57,290 0	0,999 9	89
2	0,034 9	0,034 9	28,636 3	0,999 4	88
3	0,052 3	0,052 4	19,081 1	0,998 6	87
4	0,069 8	0,069 9	14,300 7	0,997 6	86
5	0,087 2	0,087 5	11,430 1	0,996 2	85
6	0,104 5	0,105 1	9,514 4	0,994 5	84
7	0,121 9	0,122 8	8,144 3	0,992 5	83
8	0,139 2	0,140 5	7,115 4	0,990 3	82
9	0,156 4	0,158 4	6,313 8	0,987 7	81
10	0,173 6	0,176 3	5,671 3	0,984 8	80
11	0,190 8	0,194 4	5,144 6	0,981 6	79
12	0,207 9	0,212 6	4,704 6	0,978 1	78
13	0,225 0	0,230 9	4,331 5	0,974 4	77
14	0,241 9	0,249 3	4,010 8	0,970 3	76
15	0,258 8	0,267 9	3,732 1	0,965 9	75
16	0,275 6	0,286 7	3,487 4	0,961 3	74
17	0,292 4	0,305 7	3,270 9	0,956 3	73
18	0,309 0	0,324 9	3,077 7	0,951 1	72
19	0,325 6	0,344 3	2,904 2	0,945 5	71
20	0,342 0	0,364 0	2,747 5	0,939 7	70
21	0,358 4	0,383 9	2,605 1	0,933 6	69
22	0,374 6	0,404 0	2,475 1	0,927 2	68
23	0,390 7	0,424 5	2,355 9	0,920 5	67
24	0,406 7	0,445 2	2,246 0	0,913 5	66
25	0,422 6	0,466 3	2,144 5	0,906 3	65
26	0,438 4	0,487 7	2,050 3	0,898 8	64
27	0,454 0	0,509 5	1,962 6	0,891 0	63
28	0,469 5	0,531 7	1,880 7	0,882 9	62
29	0,484 8	0,554 3	1,804 0	0,874 6	61
30	0,500 0	0,577 4	1,732 1	0,866 0	60
31	0,515 0	0,600 9	1,664 3	0,857 2	59
32	0,529 9	0,624 9	1,600 3	0,848 0	58
33	0,544 6	0,649 4	1,539 9	0,838 7	57
34	0,559 2	0,674 5	1,482 6	0,829 0	56
35	0,573 6	0,700 2	1,428 1	0,819 2	55
36	0,587 8	0,726 5	1,376 4	0,809 0	54
37	0,601 8	0,753 6	1,327 0	0,798 6	53
38	0,615 7	0,781 3	1,279 9	0,788 0	52
39	0,629 3	0,809 8	1,234 9	0,777 1	51
40	0,642 8	0,839 1	1,191 8	0,766 0	50
41	0,656 1	0,869 3	1,150 4	0,754 7	49
42	0,669 1	0,900 4	1,110 6	0,743 1	48
43	0,682 0	0,932 5	1,072 4	0,731 4	47
44	0,694 7	0,965 7	1,035 5	0,719 3	46
45	0,707 1	1,000 0	1,000 0	0,707 1	45
	Cosinus	Cotangentes	Tangentes	Sinus	Degrés

Table de correspondance en spectroscopie infra-rouge

Liaison	Nombre d'ondes σ (cm ⁻¹)	Intensité ⁽¹⁾	Liaison	Nombre d'ondes σ (cm ⁻¹)	Intensité ⁽¹⁾
O-H _{libre} ⁽²⁾	3580-3650	F; fine	C=O _{ester}	1700-1740	F
O-H _{lié} ⁽²⁾	3200-3400	F; large	C=O _{aldéh. cétone}	1650-1730	F
N-H	3100-3500	M	C=O _{acide}	1680-1710	F
C _{tri} -H ⁽³⁾	3000-3100	M	C=C	1625-1685	M
C _{tri} -H _{aromat.} ⁽⁴⁾	3030-3080	M	C=C _{aromat.}	1450-1600	M
C _{tét} -H ⁽⁵⁾	2800-3000	F	C _{tét} -H	1415-1470	F
C _{tri} -H _{aldéhyde}	2750-2900	M	C _{tét} -O	1050-1450	F
O-H _{acide carb.}	2500-3200	F; large	C _{tét} -C _{tét}	1000-1250	F

(1) L'intensité traduit l'importance de l'absorption : F : forte ; M : moyenne.

(2) O-H_{libre} : sans liaison hydrogène ; O-H_{lié} : avec liaison hydrogène.

(3) C_{tri} : correspond à un carbone trigonal (engagé dans une double liaison).

(4) **aromat.** : désigne un composé avec un cycle aromatique comme le benzène  ou ses dérivés.

(5) C_{tét} : correspond à un carbone tétragonal (engagé dans quatre liaisons simples).

Déplacement chimique RMN du ¹H

