

GÉNÉRALITÉS SUR LA SPERMINE

I-1. Présentation de la spermine

En 1678, Antoni van Leeuwenhoeck découvrit dans le sperme humain la présence de cristaux qui furent nommés spermines en 1888 par A. Landenburg et J. Abel [7]. La spermine est une polyamine :

- que l'on retrouve dans toutes les cellules eucaryotes comme les cellules végétales et animales [12] ;
- qui est l'un des composants naturels du sperme [13] ;
- qui joue un rôle important dans la croissance et la prolifération des cellules [14] ;
- qui agit comme un biomarqueur potentiel pour le diagnostic du cancer en raison de sa concentration élevée dans l'urine des patients cancéreux [6] ;
- à qui, on attribue des effets antioxydants, anti-inflammatoires et anti-apoptotiques dans différents modèles de lésions tissulaires [13] ;
- qui a été considérée comme l'un des agents causant des intoxications alimentaires et donc pouvant être utilisée comme indicateur de la qualité des aliments [14].

I.2. Propriétés physico-chimiques de la spermine

En raison de sa structure chimique (**Tableau 1**), la spermine, est relativement stable en milieu acide et en milieu alcalin ; elle peut établir une liaison hydrogène avec des solvants hydroxylés tels que l'eau et l'alcool [7].

Tableau 1 : Les caractéristiques physico-chimiques de la spermine

Formule chimique	C ₁₀ H ₂₆ N ₄
Nom commercial	Spermine
Nom IUPAC	N,N'-bis(3-aminopropyl)butane-1,4-diamine
Masse molaire	202,34 g.mol ⁻¹
Etat physique	Solide
Densité	0,937
Intervalle de fusion	28 à 30 °C
Température d'ébullition	130 °C
Aspect	Cristaux blanc
Structure Chimique	
Solubilité	Soluble dans l'eau et dans la plupart des solvants organiques

I-3. Synthèse et dégradation de la spermine

I-3-1. Synthèse chimique

La spermine provient essentiellement de la décarboxylation enzymatique de l'ornithine selon le mécanisme suivant (**Figure 1**) :

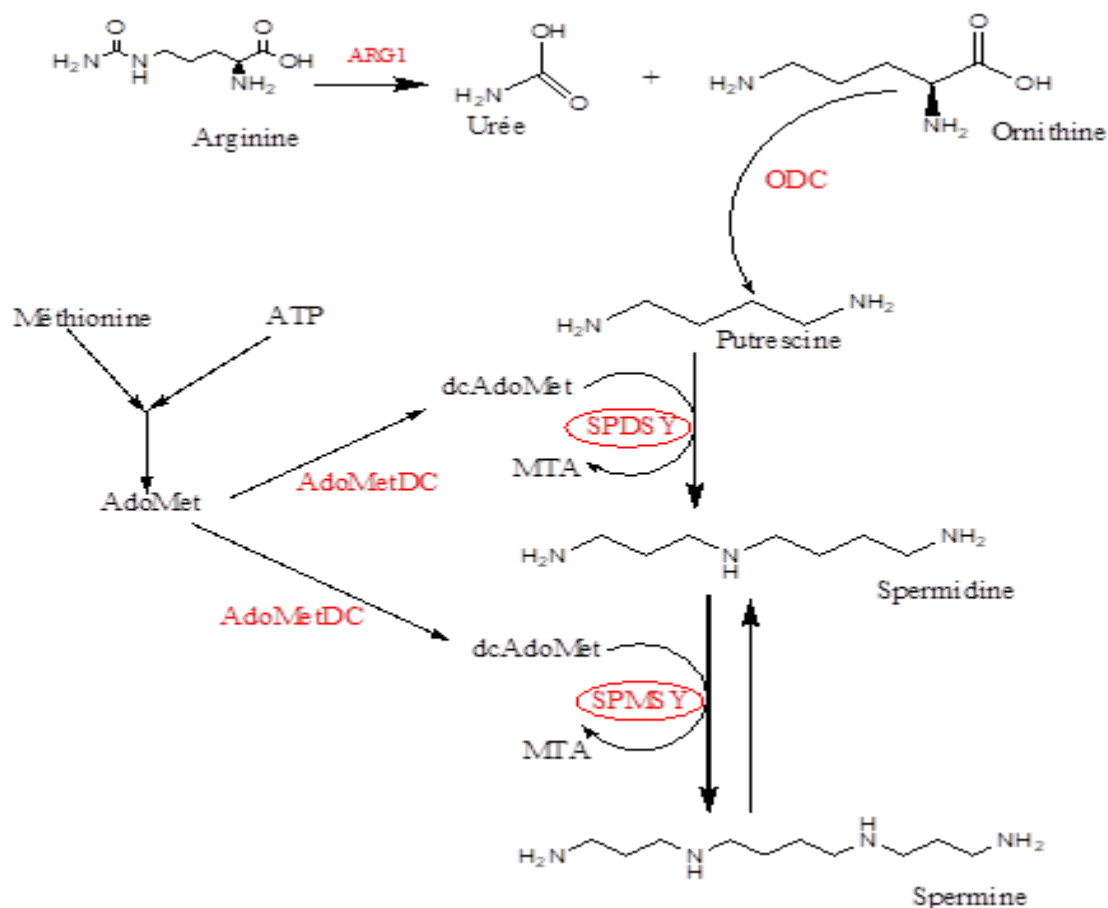


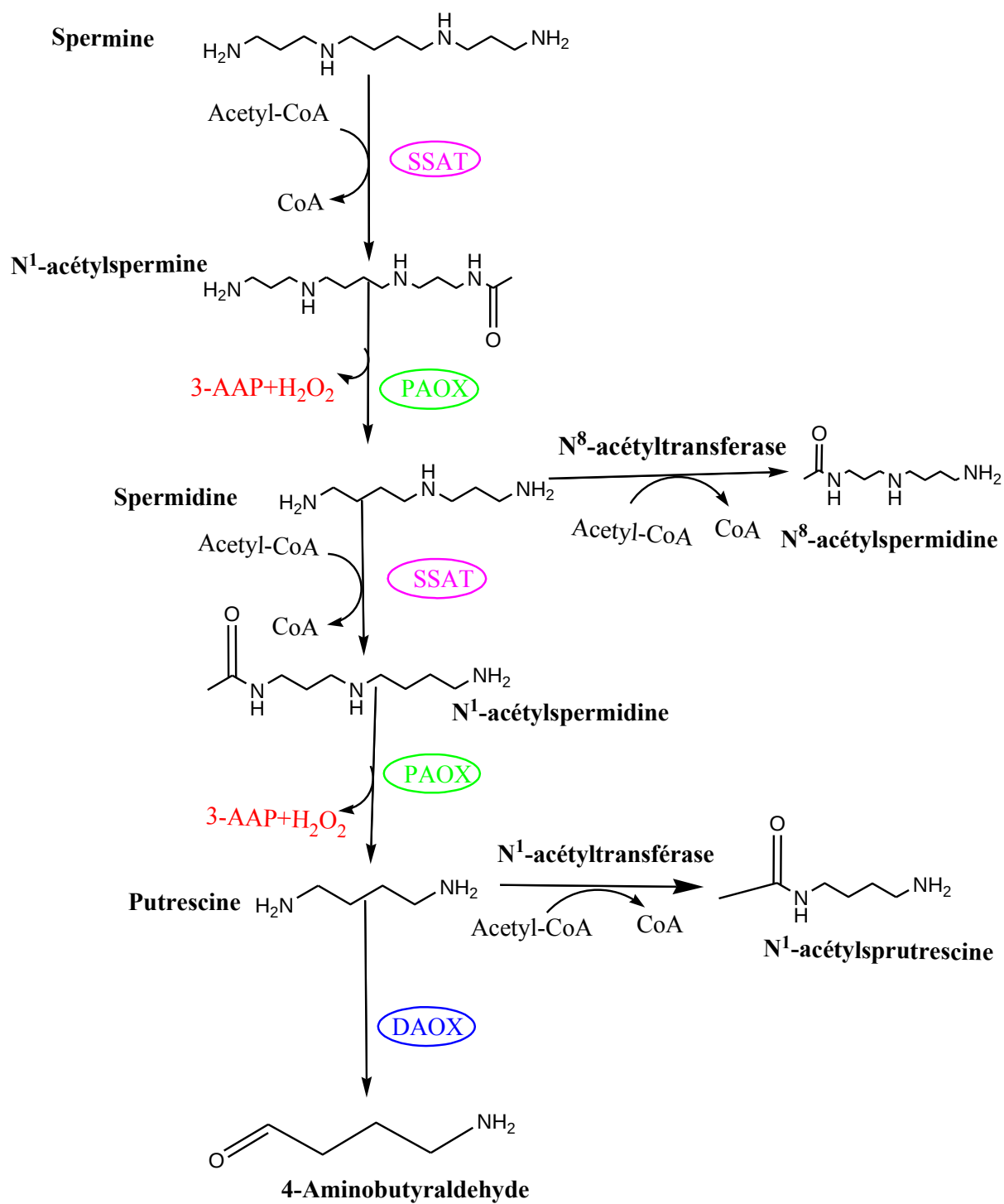
Figure 1: Biosynthèse de la spermine [15]

Dans la **figure 1**, nous notons que l'arginase 1 (ARG1), qui intervient dans le cycle de l'urée, catalyse la réaction donnant l'ornithine et l'urée à partir de l'acide aminé arginine. Puis, l'ornithine décarboxylase (ODC) produit, à partir de l'ornithine, de la putrescine. Cette dernière est convertie en spermidine puis en spermine par deux aminopropyltransférases spécifiques, la spermidine synthase (SPDSY) et la spermine synthase (SPMSY), respectivement. Le donneur d'aminopropyl pour ces réactions est la S-adénosylméthionine décarboxylée (dcAdoMet), produite par la S-adénosylméthionine décarboxylase (AdoMetDC) codée par le gène AMD1 [16].

I-3-2 Dégradation de la spermine

La spermine et la spermidine intracellulaires sont dégradées respectivement par la spermidine / spermine N1-acétyltransférase (SSAT) et la N1-acétylpolyamine oxydase (PAOX) [17]. Ce processus se déroule en deux temps (**Figure 2**) :

- ✓ la spermine et la spermidine sont tout d'abord acétylés en N1-acétylspermine et N1-acétyl-spermidine respectivement par la SSAT qui catalyse le transfert du groupe acétyl de l'acétyl-CoA ;
- ✓ dans un second temps, la PAOX, une enzyme peroxysomale, catalyse l'oxydation des polyamines N1-acétylées aboutissant à la formation d'une polyamine (putrescine ou spermidine selon le substrat initial) avec libération du 3-acétylaminopropanal (3-AAP) et de peroxyde d'hydrogène H_2O_2 [15].



I-4. Le niveau de spermine dans les aliments

La spermine peut être trouvée dans les aliments d'origines animale et végétale, ainsi que dans le lait maternel et les préparations pour nourrissons [7]. Certains aliments sont riches en spermine notamment : les pois verts ($52,5 \text{ mg.kg}^{-1}$), le brocoli ($9,3 \text{ mg.kg}^{-1}$) et l'aneth ($8,7 \text{ mg.kg}^{-1}$). De même que certains fruits comme la pêche ($2,57 \text{ mg.kg}^{-1}$), l'ananas ($2,2 \text{ mg.kg}^{-1}$) et le citron ($1,8 \text{ mg.kg}^{-1}$) [18].

La viande et ses dérivés peuvent contenir des niveaux élevés de spermine. Par exemple, de la spermine, à des teneurs supérieures à 148 nmol.g^{-1} , a été trouvée dans des échantillons de bœuf, de porc, de poulet, de jambon cru et de saucisse. Dans le poisson et ses dérivés, les teneurs en spermine sont généralement inférieures à celles dans les produits à base de viande, et nettement plus élevées dans le lait et les œufs. Dans la plupart des fromages, les niveaux de spermine sont inférieurs à 10 nmol.g^{-1} . Dans les viandes soumises à un processus de cuisson impliquant une grande quantité d'eau (ragoût et ébullition), aucune perte significative de spermine n'a été observée. Dans le cas de certaines techniques de cuisson qui impliquent des températures plus élevées ($> 53^{\circ}$), le rôtissage, le grillage ou la friture, des pertes allant jusqu'à 60% de spermine dans la viande de poulet sont observées [7].

Tableau 2: Teneur moyenne en polyamines dans les matrices alimentaires [7]

Matrice	Teneur (en nmol/g)	Réf
Fruits Pomme, avocat, banane, cerise, kiwi, mandarine, orange, poire, pêche, ananas, fraise, jus de fruits	nd-25	[7]
Légumes Brocoli, chou, chou-fleur, carotte, céleri-rave, courgette, concombre, aubergine, haricots verts, poivron vert, laitue, champignon, oignon, pomme de terre, épinards, tomate.	nd-54	
Légumineuses et produits à base de soja Pois chiches, lentilles, pois, haricots blancs, haricots rouges, soja, pousses de soja, lait de soja, tofu, sauce soja, miso	nd-341	
Noix et oléagineux Amandes, châtaignes, pistaches, graines	63-165	
Céréales Riz, germe de blé, pain blanc	nd-722	
Viande fraîche Bœuf, veau, agneau, porc, poulet, lapin, dinde, canard.	1-342	
Dérivés de viande cuite Jambon cuit, mortadelle, saucisse, saucisse de Francfort, botifarra	11-99	
Dérivés de viande séchés et fermentés Jambon sec, saucisse fermentée à sec	11-177	
Produits de poisson et de fruits de mer frais Poisson blanc, morue, merlu, saumon, thon, sardine, crevette, crabe, calamars, huîtres, pétoncles	nd-111	
Poisson semi-conservé et en conserve Thon en conserve, anchois	12-53	
Œuf	nd-1	
Lait et produits laitiers Lait, yaourt	nd-4	
Fromage Fromage affiné, fromage à pâte dure, fromage de chèvre, roquefort, gorgonzola, fromage bleu, camembert, brie, comté, emmental suisse, fromage jaune	nd-17	
Lait maternel (Sein à terme)	Teneur (en en nmol/ml)	
	0,104 –5,080	

nd : données non disponibles

I-5. Les effets physiologiques de la spermine

La spermine est impliquée dans diverses fonctions telles que la croissance et la différenciation cellulaires, la synthèse et la stabilité de l'ADN, la régulation de la transcription, la régulation des canaux ioniques et la phosphorylation des protéines [17].

I-5-1. Chez les animaux

La spermine contribue de manière significative au rôle essentiel que jouent les polyamines intestinales sur la croissance, la maturation et la régénération de la petite muqueuse intestinale et colique [19]. Une étude a montré que l'administration orale de spermine chez la souris augmente l'activité de la phosphatase alcaline et de la disaccharidase, et altère par la suite la maturation intestinale [7]. L'administration de spermine et de spermidine à des rats nouveau-nés a suscité une augmentation de leur poids et de la longueur de leur intestin et a accéléré leur maturation [7]. En ce qui concerne la réponse immunitaire au niveau intestinal, diverses études chez l'animal ont indiqué que l'administration orale de spermine et de spermidine dans la période postnatale améliore la maturation des cellules immunitaires intestinales et augmente les taux d'immunoglobuline A dans les villosités et les cryptes de l'intestin [7]. De plus, la spermine peut favoriser la réduction du stress de sevrage précoce des porcelets [8]. La spermine aurait également un effet sur le vieillissement. En effet, dans une étude chez des souris vieillissantes, un régime avec des niveaux élevés de spermine (374 nmol .g⁻¹) et de spermidine (1540 nmol.g⁻¹) augmente les concentrations de ces composés dans le sang et réduit les taux de marqueurs pro-inflammatoires, la méthylation de l'ADN associée à l'âge, l'atrophie glomérulaire rénale et la mortalité [7].

I-5-2. Chez les plantes

La putrescine, la spermidine et la spermine sont les principales polyamines des plantes. Ces composés polycationiques sont impliqués dans les processus cellulaires fondamentaux comme la croissance, la différenciation et la morphogenèse [20]. Dans les feuilles sénescentes, la spermine empêche la dégradation de la chlorophylle b et de certaines protéines, et augmente l'activité de l'enzyme TGase, produisant plus de conjugués polyamines-protéine [21]. Des études ont montré que la pulvérisation du mélange de spermine et d'acide gibbéréllique (GA3) permet de réduire la sénescence des fleurs coupées d'anthurium

conservées à 20°C et d'améliorer la qualité commerciale des inflorescences [22]. Les goyaves vertes mûres fraîchement récoltées et traitées avec de la spermine (100 ppm) conservent une qualité moyennement acceptable pendant plus de 24 jours de conservation au froid. Cela semble être la meilleure option si les fruits doivent être transportés vers des marchés éloignés ou stockés plus longtemps [23].

I-5-3. Chez l'homme

La molécule de spermine, du fait de sa charge, de sa longueur, de la flexibilité de sa chaîne et de sa symétrie, joue un rôle spécifique dans l'organisation structurale et la réactivité de la chromatine. In vitro, on peut, en présence de spermine, condenser l'ADN en particules sphéroïdes. Cette propriété est à l'origine de l'utilisation de « lipo-polyamines » comme vecteur synthétique dans des méthodes de transfert de gènes. La spermine est capable aussi de protéger l'ADN de l'action des endonucléases responsables de la fragmentation de l'ADN [7]. La spermine pourrait également servir d'agent thérapeutique, spécifique et attractif pour le traitement de l'HPH (hypertension pulmonaire induite par l'hypoxie) [24].

I-6. Spermine et cancer

La spermine agit comme un biomarqueur potentiel pour le diagnostic du cancer. En effet il a été remarqué que les taux de spermine sont très faibles dans les échantillons sanguins de maladies rénales chroniques et d'accidents vasculaires cérébraux, alors que des niveaux élevés de spermine sont trouvés dans l'urine, la salive et le foie des patientes atteintes d'un cancer du sein [6]. Par conséquent, la quantification de la spermine dans les biofluides (urine, salive et sang) peut fournir des informations utiles pour le diagnostic rapide d'une maladie cancéreuse [6]. Les concentrations élevées de spermine dans l'urine peuvent indiquer la présence de tumeurs malignes. C'est la raison pour laquelle la surveillance de la spermine dans l'urine a été proposée comme un outil de diagnostic précoce du cancer afin d'évaluer l'efficacité du traitement anticancéreux et de détecter la rémission et la rechute du cancer [14].

I-7. Méthodes d'analyse de la spermine

La détermination de la teneur en spermine dans les aliments et dans les plasmas pourrait aider à prévenir certaines pathologies comme les intoxications alimentaires ou le cancer. En effet, la spermine a été considérée comme responsable d'intoxications alimentaires et aussi un outil de diagnostic du cancer. Son taux dans les aliments pourrait être un indicateur de la qualité de ces derniers [14]. Ainsi plusieurs méthodes d'analyses pour doser la spermine ont été proposées

I-7 -1. Les méthodes chromatographiques

I-7 -1-1. La chromatographie liquide à haute performance (CLHP)

De toutes les méthodes d'analyse, la **CLHP** est la plus populaire et la plus fréquemment utilisée pour la séparation et la quantification des amines biogènes. Elle offre l'avantage d'analyser plusieurs amines biogènes simultanément. Elle a permis de quantifier la spermine dans plusieurs matrices alimentaires. Nous avons donné dans le **tableau 3** les résultats sur la détermination de la spermine dans les matrices alimentaires par CLHP. Les limites de détection et de quantification des échantillons solides, exprimées en mg/kg, sont comprises, respectivement, entre 0,06 et 0,1 mg.kg⁻¹ et 0,19 et 0,31 mg.kg⁻¹. Celles des échantillons liquides sont exprimées en masse par volume (ng.mL⁻¹, µg.mL⁻¹, µg.L⁻¹ et µg.dm⁻³). Les taux de récupération obtenus montrent que la méthode CLHP serait appropriée pour la détermination de la spermine dans les matrices alimentaires.

Tableau 3: Résultats d'analyse de la spermine dans différentes matrices par CLHP

Matrice	Technique - Détecteur	LD	LQ	% DSR	% PR	Ref
Vin	CLHP -UV	0,30 mg.L ⁻¹	1,00 mg.L ⁻¹	1,44- 3,16	Nd	[25]
	CLHP - MS/MS	12 µg.dm ⁻³	40 µg.dm ⁻³	Nd	Nd	[26]
Bière	CLHP - MS/MS	12 µg.dm ⁻³	40 µg.dm ⁻³	Nd	Nd	
	CLHP-DF	7,8 µg.L ⁻¹	26,1 µg.L ⁻¹	2,1	92,8	[27]
	CLHP -DF	0,67 ng.mL ⁻¹	Nd	2,74	95,17	[28]
Fromage	CLHP -DF	0,67 ng.mL ⁻¹	Nd	1,76	100,52	
	CLHP -DF	7,8 µg.L ⁻¹	26,1 µg.L ⁻¹	3,1	104,1	[27]
Poisson frais	CLHP -DF	0,67ng.mL ⁻¹	Nd	2	98,54	[28]
Viande de volaille	CLHP -DF	0,06 µg.L ⁻¹	0,50 µg.L ⁻¹	Nd	90 -106	[29]
Viande de poulet	CLHP -UV	0,06 µg.L ⁻¹	0,50 µg.L ⁻¹	Nd	64,40 -95,89	[30]
Saucisse	CLHP -DF	0,67 ng.mL ⁻¹	Nd	3,04	96,53	[28]
	CLHP -DF	7,8 µg.L ⁻¹	26,1µg.L ⁻¹	2,7	108,3	[27]
Yaourt	CLHP -DF	7,8 µg.L ⁻¹	26,1µg.L ⁻¹	3,7	104,7	
Vin de riz	CLHP -DF	7,8 µg.L ⁻¹	26,1µg.L ⁻¹	2,6	95,6	
L'huile de maïs	CLHP - UV	0,07 mg.kg ⁻¹	0,21 mg.kg ⁻¹	2,20-4,51	94,51-105,29	[9]
Jus	CLHP - UV	0,10mg.kg ⁻¹	0,31mg.kg ⁻¹	2,84-5,40	102,05-107,01	
Beurre d'arachide	CLHP - UV	0,06 mg.kg ⁻¹	0,19mg.kg ⁻¹	2,47-5,31	94,35-107,37	
Saucisse au jambon	CLHP -DF	7,8 µg.L ⁻¹	26,1 µg.L ⁻¹	2,7	108,3	
Le juk (bouillie traditionnelle coréenne à base de riz)	CLHP - UV	0,08mg.kg ⁻¹	0,24mg.kg ⁻¹	2,58-4,96	96,39-98,96	

Nd : données non disponibles

I-7-1-2. La chromatographie en phase gazeuse (CPG)

Dans la littérature, nous avons rencontré peu de travaux sur la détermination de la spermine par la chromatographie en phase gazeuse. Nous proposons ci-dessous les données obtenues sur la quantification de la spermine par CPG à partir d'un extrait de vin maison à base de fruits.

Tableau 4: Résultats d'analyse de la spermine dans le vin par CPG

Matrices	Technique - Détecteur	Extraction	LD	LQ	% PR	%DSR	Ref
Boissons alcoolisées	CPG –MS	MEDLL	1,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$	3,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$	89	11	[10]
			1,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$	3,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$	96	7	

I-7-1-3. La chromatographie sur couche mince (CCM)

La chromatographie sur couche mince (CCM) est une technique chromatographique utile pour séparer les composés organiques. En ce qui concerne la méthodologie et les exigences en matière d'équipement, la CCM est beaucoup plus simple et moins automatisée que la chromatographie liquide haute performance (CLHP) [31]. Nous avons donné dans le tableau suivant les résultats d'analyse de la spermine par CCM.

Tableau 5: Résultats d'analyse de la spermine dans le poisson par CCM

Matrice	Technique – Dectecteur	Extraction	LD	LQ	%PR	%DSR	Ref
La morue	CCM-PF	TCA	0,5 $\mu\text{g.ml}^{-1}$	Nd	73,5	0,13 -4,50	[32]
Calamar	CCM-PF	TCA	0, 5 $\mu\text{g.ml}^{-1}$	Nd	24,1	0,13 -4,50	

Nd : non déterminé

I-7-1-4. La chromatographie liquide ultra haute performance (CLUHP)

La chromatographie liquide à ultra haute pression (CLUHP) est une nouvelle génération de technique chromatographique. Comparée à la CLHP, elle fonctionne à des pressions plus élevées (jusqu'à 15 000 psi), nécessite moins de volume d'échantillon à utiliser et un temps d'analyse plus court [11].

Tableau 6: Résultats d'analyse de la spermine dans différentes matrices par CLUHP

Matrices	Techniques - Dectecteurs	LD	LQ	%PR	Ref
Fromage	CLUHP-UV	0,0981 $\mu\text{g.L}^{-1}$	0,321 $\mu\text{g.L}^{-1}$	Nd	[33]
Fromage	CLUHP-DF	1,62 mg/100g	6,09 mg/100g	Nd	[34]
Vin	CLUHP-DF	<0,2 mg.L^{-1}	<0,3 mg.L^{-1}	98,40-100,44	[11]
Poisson	CLUHP-DF	<0,2 mg.L^{-1}	<0,3 mg.L^{-1}	87,93-88,80	
Fromage	CLUHP-DF	<0,2 mg.L^{-1}	<0,3 mg.L^{-1}	91,47- 94,79	
Saucisses sèches	CLUHP-DF	<0,2 mg.L^{-1}	<0,3 mg.L^{-1}	93,64-92,99	
Champignons	CLUHP-UV	0,032-0,098 $\mu\text{g.L}^{-1}$	Nd	Nd	[33]
Viande	CLUHP-UV	0,032-0,098 $\mu\text{g.L}^{-1}$	Nd	Nd	
Fromage	CLUHP-UV	0,098 $\mu\text{g.L}^{-1}$	0,32 $\mu\text{g.L}^{-1}$	Nd	

Nd : données non disponibles

Le tableau 6 ci-dessus montre les résultats obtenus après analyse de quelques matrices alimentaires pour la détermination de la spermine. On observe des LD et LQ très faibles avec un taux de récupération variant de 87,93 à 100,44 %.

I-7-2. Électrophorèse capillaire (CE)

La méthode est rapide, nécessite une petite quantité d'échantillon à analyser et produit une faible quantité de déchets. Dans le tableau ci-dessous nous avons relevé plusieurs matrices alimentaires qui ont été analysées pour la détermination de la spermine par CE.

Tableau 7: Résultats d'analyse de la spermine dans plusieurs matrices par les techniques électrophorétiques

Matrices	Méthodes électrophorétiques	Détecteurs	LD	LQ	%PR	%DSR	Réf
Viande	CE	DP	0,1µg.mL ⁻¹	0,4µg.mL ⁻¹	Nd	2,64	[35]
Saucisse	CE	DP	0,1µg.mL ⁻¹	0,4µg.mL ⁻¹	Nd	2,43-2,72	
Bière	CE	MS/MS	1 µg.L ⁻¹	3 µg.L ⁻¹	95-109	0,1-5,5	[36]
Vin	CE	MS/MS	1 µg.L ⁻¹	3 µg.L ⁻¹	94-108	0,1-5,5	
	MECK	LIF	12 nM	Nd	Nd	Nd	[37]
Poisson	MECK	LIF	12 nM	Nd	Nd	Nd	
	CE	DP	0, 1µg.mL ⁻¹	0,4µg.mL ⁻¹	Nd	2,57-2,79	[35]
Sauce de soja	MECK	LIF	12 nM	Nd	Nd	Nd	[37]
Poisson	MECK	LIF	12 nM	Nd	Nd	Nd	

Nd : données non disponibles

I-7-3. Les capteurs électrochimiques

Les capteurs électrochimiques ou biocapteurs sont une alternative aux procédures analytiques décrites ci-dessus. Ils sont moins coûteux, plus simples à mettre en œuvre, moins longs sur le plan analytique. Les biocapteurs électrochimiques sont généralement constitués d'amino-oxydases immobilisées, qui catalysent l'amination oxydée des polyamines présentes dans les aliments, et d'une électrode de travail qui détecte la production ou la consommation des espèces redox produites par l'activité enzymatique. Différents capteurs électrochimiques développés pour la détermination rapide des polyamines dans les aliments ont montré de faibles limites de détection, une bonne sélectivité envers ces composés [7], un faible coût, une analyse automatique avec une faible consommation de réactifs [38].

Cette technique caractérisée par l'utilisation de capteur fluorescent pour la détection de la spermine comme biomarqueur est souvent utilisée pour le diagnostic du cancer, par exemple dans les biofluides (urine et sang).

Tableau 8: Résultats d'analyse de la spermine dans différentes matrices par les techniques électrochimiques

Matrices	Electrode	Enzyme	Technique	LD	Ref
Poissons	Pt	DAO	A	0,5 nM	[38]
Echantillons de plantes	Pt	DAO	A	1 nM	
		PAO	A	1 nM	
	Au	-	SWV	0,11 nM	
Les produits laitiers	Au	-	PAD	0,4 μ M	
Viande	Au	-	IPAD	0,5–10 mg.L ⁻¹	
Boissons alcoolisées	Au	-	IPAD	0,18 μ M	
Fluides corporels humains	Pt	PAO	A	4 pM	
	Pt	-	CV, A	0,06 μ M	
	Graphite SPE	SMO	CA	1 μ M	

I-7-4. Les méthodes colorimétriques

La détection colorimétrique peut également convenir pour mesurer la spermine dans diverses matrices en raison de plusieurs avantages tels qu'une opération facile et simple, et une détection visuelle sans instruments coûteux. Certains des chimiocapteurs optiques pour les polyamines ont été explorés en utilisant l'agrégation de petits colorants organiques anioniques, de polymères conjugués ou de nanoparticules par le biais d'interactions électrostatiques avec les polyamines dans la mesure où l'agrégation entraîne des changements dans l'absorption et dans la fluorescence par rapport aux espèces monomères [39]. Des capteurs sensibles et sélectifs pour la détection de la spermine ont été proposés en utilisant des réactifs de préférence disponibles dans le commerce comme le zincon, un colorant chromogène chélatant pour la détection des ions cuivre et zinc.

Tableau 9: Résultats d'analyse de la spermine dans différentes matrices par les techniques colorimétriques

Matrices	Méthodes	Détecteurs	LD	LQ	%PR	%DRS	Réf
Plasma et urine	colorimétrique avec biomarqueurs	Tyr-Au NPs biosensor	136 pM	Nd	99,3-101,6	Nd	[40]
Urine	colorimétrique avec biomarqueurs	Zincon	25,1 nM	Nd	Nd		[39]
Le bœuf	détection biochimique	assemblage ctDNA-AuNPs,	11,6 nM	49,4 ng.mL ⁻¹	95,0-103,0	3,35	[41]
Chrysanthème					96,0-108,0	4,66	

Nd : données non disponibles

I-7-5. Les méthodes fluorimétriques

Les méthodes fluorimétriques se révèlent être une stratégie analytique facile et rentable pour la détection de la spermine comme biomarqueurs dans les échantillons d'urine et de sang en utilisant par exemples :

- des nanomètres (NSET) par l'intermédiaire des nanorods d'or (AuNRs) chargés positivement [42].
- des biocapteurs spécifiques comme les pepsin-AuNCs, méthode basée sur l'extinction de la fluorescence induite par la spermine des P-Au NCs [6],
- de nouveaux optocapteurs "à activer" basés sur des copolymères de thiophène amphiphiles recouverts de points quantiques CdTe (P1QD et P2QD) [44].

Les résultats (Tableau 10) obtenus avec des limites de détection très faibles et des pourcentages de récupération satisfaisant prouvent que les méthodes fluorimétriques sont des méthodes très appropriées pour l'analyse de la spermine.

Tableau 10: Résultats d'analyse de la spermine dans différentes matrices par les techniques fluorimétriques

Matrices	Méthodes	$\lambda_{ex}/\lambda_{em}$ (nm)	LD	LQ	% PR	% DSR	Réf
Plasma femelle	Fluorescence avec biomarqueurs	416/655	1,75nM	Nd	99,79-100,08	0,22-0,54	[6]
Plasma male	Fluorescence avec biomarqueurs	416/655	1,75nM	Nd	99,62-99,89	0,11-0,73	
Urine femelle	Fluorescence avec biomarqueurs	416/655	1,75nM	Nd	99,93-100,78	0,14-0,44	
Urine male	Fluorescence avec biomarqueurs	416/655	1,75nM	Nd	99,94-100,75	0,04-0,91	
Plasma et urine	Fluorescence avec biomarqueurs	346/410	6,2 nM	Nd	99,3-101,6	Nd	[40]
Urine	Fluorescence avec biomarqueurs	434/680	0,04nM	26,99 $\mu\text{g.m L}^{-1}$	Nd	4,72-8,91	[42]
Urine	Fluorescence		4,73nM		Nd	Nd	[43]
sérum humain	Fluorescence avec biosenseur	350/425	2,90nmol.L ⁻¹	Nd	96,88- 106,90	1,06-2,13	[44]
		380/510	1,66nmol.L ⁻¹	Nd	96,88- 106,90	1,06-2,13	

Nd : données non disponibles