

## Caractérisation phytochimique et application de l'azoture de sodium (mutagène chimique) sur les graines de trois variétés de gombo (*Abelmoschus esculentus*) cultivées au Cameroun

Raphaël Simeon NJOCK<sup>1\*</sup>, Constant Benoit LIKENG-LI-NGUE<sup>1,3</sup>, Jude MANGA NDJAGA<sup>2</sup>, Hermine Bille NGALLE<sup>1</sup> et Joseph Martin BELL<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Yaoundé 1, Faculté des Sciences, Département de Biologie Végétale, Laboratoire de Génétique et Amélioration des Plantes, BP 812 Yaoundé, Cameroun

<sup>2</sup> Université de Yaoundé 1, Faculté des Sciences, Département de Biologie Végétale, Laboratoire de Phytopathologie, BP 812 Yaoundé, Cameroun

<sup>3</sup> Université de Yaoundé 1, Faculté des Sciences, Département de Biologie Végétale, Centre de Recherche et d'Accompagnement des Producteurs Agro-pastoraux du Cameroun (CRAPAC), BP 812 Yaoundé, Cameroun

(Reçu le 27 Avril 2024 ; Accepté le 03 Juin 2024)

\* Correspondance, courriel : [simeonnjocky@gmail.com](mailto:simeonnjocky@gmail.com)

### Résumé

La présente étude réalisée à Bipindi, dans la Région du Sud au Cameroun a pour objectif d'évaluer la réponse phytochimique de trois variétés de gombo exposées à l'azoture de sodium (AS). Pour ce travail, les graines saines sont préalablement prétraitées à l'eau distillée pendant 6 h, puis exposées à l'AS aux doses (de 0 ; 2 ; 4 et 6 g/L) durant 6 h avant d'être semées en champ, dans un dispositif en Bloc Complètement Randomisé. 60 jours après semis (plantes matures, à 50 % de floraison), des paramètres ont été évalués. Les résultats ont montré une amélioration significative et maximale des valeurs pour certaines concentrations en AS. La teneur en sucres, augmente de 49,40 % (à T2 en M2) et de 38,72 % (à T5 en M1) ; la teneur en protéines évolue de 30,13 % (à T11 en M1) ; la quantité en flavonoïdes totaux s'accroît de 16,27 % (à T5 en M2) et 28,91 % (à T11 en M1). Ce travail montre que l'application de l'AS sur les graines de gombo permet d'augmenter la valeur nutritive (sucres et protéines) ainsi que bioprotectrice (flavonoïdes) de cette plante. Cette méthode d'amélioration génétique pourrait donc être appliquée à d'autres plantes à forte consommation alimentaire et usages médicinales encore non testées par ce mutagène pour améliorer leurs richesses en métabolites.

**Mots-clés :** Azoture de sodium, gombo, phytochimique, bioprotectrice, métabolites.

### Abstract

**Phytochemical characterization and application of sodium azide (chemical mutagen) on the seeds of three varieties of okra (*Abelmoschus esculentus*) grown in Cameroon**

The aim of the present study carried out at Bipindi, in the Southern Region of Cameroon, was to evaluate the phytochemical response of three varieties of okra exposed to sodium azide (SA). For this work, healthy seeds are pretreated with distilled water for 6 h, then exposed to SA at doses (0; 2; 4 and 6 g/L) for 6 h before being sown in the field, in a Completely Randomized Block design. 60 days after sowing

(mature plants, at 50 % flowering) parameters were evaluated. The results show a significant and maximum improvement in the values for certain SA concentrations. The sugar content increases by 49.40 % (at T2 in M2) and 38.72 % (at T5 in M1); the protein content changes by 30.13 % (at T11 in M1); the quantity of total flavonoids increases by 16.27% (at T5 in M2) and 28.91 % (at T11 in M1). This work shows that the application of SA on okra seeds makes it possible to increase the nutritional (sugars and proteins) as well as bioprotective (flavonoids) value of this plant. This method of genetic improvement could therefore be applied to other plants with high food consumption and medicinal uses not yet tested by this mutagen to improve their richness in metabolites.

**Keywords :** *Sodium azide, okra, phytochemical, bioprotective, metabolites.*

## 1. Introduction

La mutation induite étant une solution alternative pour produire la variabilité par rapport à différents caractères [1], elle est appliquée pour l'amélioration génétique de tous les attributs, qu'ils soient de nature qualitative ou quantitative [2]. Les caractéristiques améliorées peuvent se traduire par l'accroissement aussi bien de la qualité nutritionnelle [3, 4] que médicinale [5] des plantes cultivées. Ainsi, l'intérêt particulier porté sur les mutagènes chimiques dans un contexte de mutagenèse induite vient du fait qu'ils garantissent une plus grande réussite dans les programmes de sélection par voie de multiplication végétative et de reproduction sexuée [6]. Par ailleurs, il a été démontré que ceux-ci influencent les changements biologiques par substitution de bases d'ADN [7], offrant ainsi la possibilité d'induire des changements souhaitables et exploitables dans divers caractères [8]. Au vu du nombre de mutants produit jusqu'à ce jour, ce qui le classe en 8<sup>ème</sup> position d'importance parmi plus d'une vingtaine de mutagènes chimiques, la vulgarisation de l'action de l'azoture de sodium (AS :  $\text{NaN}_3$ ) sur la production de mutants chez certaines plantes comme le gombo n'est clairement pas observée dans le classement des spéculations préférentiellement testées [9]. Considéré comme le mutagène le moins dangereux et le plus efficace, il permet d'obtenir un nombre de mutations élevé avec des taux de stérilités modérés, associés à peu d'aberrations chromosomiques, produisant des effets physiologiques capables d'induire un retard de germination et de croissance [4]. Toutefois, une amélioration de cette croissance a été enregistrée dans certaines études réalisées sur *Abelmoschus moschatus* [10], *Pisum sativum* et *Vicia faba* [11], *Helichrysum bracteatum* [12] et *Arachis hypogaea* [13]. Ainsi, il serait donc intéressant de s'attarder d'avantage sur l'effet de ce mutagène sur le gombo. En effet, ce dernier présente un énorme potentiel phytochimique pouvant contribuer à satisfaire les besoins alimentaires et médicaux chez l'Homme. Selon certains auteurs, l'importance du gombo est fonction de l'organe concerné [14]. Ainsi, selon la partie du végétal utilisée, cette plante dispose des vertus médicinales telles que : gastroprotecteur, antioxydant, anti-inflammatoire et antimicrobien [15]. Grâce à la pectine qu'elle possède, elle réduit le cholestérol sanguin [16] ; sa richesse en fibres régule la teneur en sucres sanguin [17]. Par ailleurs, sur le plan alimentaire le gombo fournit de l'huile riche en acides gras insaturés (acides oléique et linoléique) essentiels pour la santé humaine [18]. En outre, c'est une bonne source de potassium, sodium, magnésium, calcium, zinc, nickel [19] ; de vitamines B1, B2, B3, B5 et B6 [16]. Aujourd'hui, près d'un milliard de personnes sont sous alimentées, en particulier en Afrique Subsaharienne (239 millions) [20]. De même, la production en gombo de cette sous-région est largement inférieure à la seule demande Camerounaise [21]. Ainsi, d'ici 2080, un supplément de 266 millions de personnes pourrait être exposé à la faim [20]. Également, avec la pauvreté actuelle existante, plus d'un milliard de personnes dépensent encore plus de 10 % du budget de leur ménage pour les soins de santé [22], alors qu'une régulière consommation en gombo loin d'être une panacée pourrait être d'un grand secours pour contribuer à l'atténuation de ces maux. La prise en compte de la situation actuelle impose une mise sur pied des individus de gombo au phénotype intéressant et satisfaisant. Une étude permettant d'apprécier la variation en métabolites au sein du gombo est donc nécessaire. L'objectif de cette étude est d'évaluer la réponse phytochimique de trois variétés de gombo exposées à l'azoture de sodium.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Présentation du Site d'étude

L'essai est mené au Cameroun (**Figure 1**), précisément au sein du Foyer Notre-Dame de la Forêt (FONDAF) ( $2^{\circ}58'8.97''$  N /  $9^{\circ}56'9.08''$  E) situé dans la localité (Arrondissement) de Bipindi, Département de l'Océan, Région du Sud, pendant les saisons culturales de Mars – Mai (M1 : première génération) et Août – Octobre (M2 : deuxième génération) de l'année 2022.

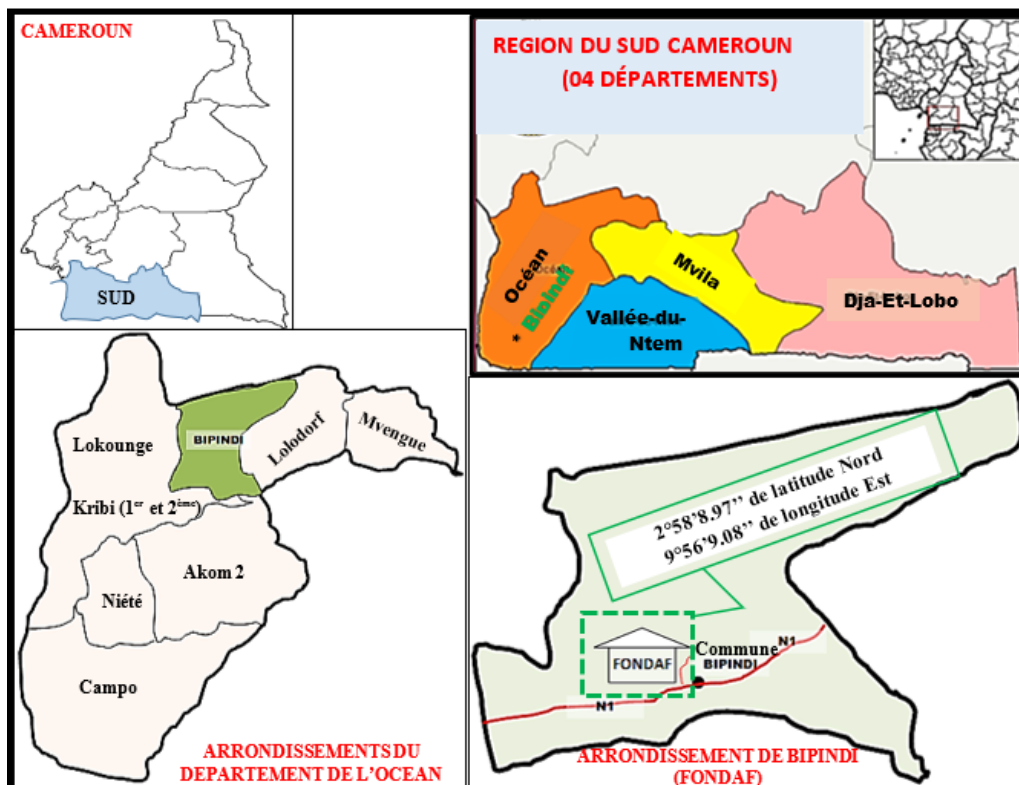


Figure 1 : Carte géographique de la localisation du site d'étude.

### 2-2. Matériel végétal

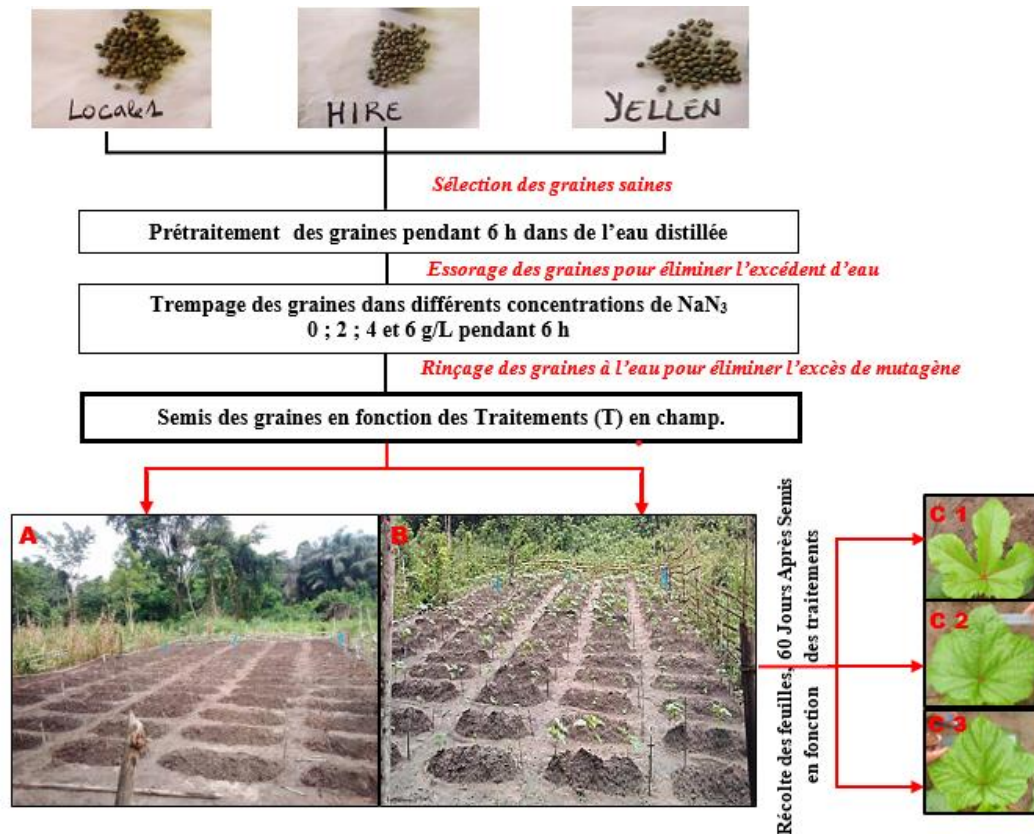
Le matériel végétal est constitué des graines de trois variétés de gombo (*Abelmoschus esculentus*). La variété Locale 1 provient du champ expérimental de l'Unité Génétique Appliquée (UGAP) de l'Université de Yaoundé 1 ; les variétés Hire et Yellen sont fournies par Agri-Espoir, entreprise agréée de vente de semences au Cameroun.

### 2-3. Matériel Mutagène

L'agent mutagène utilisé pour induire les mutations est l'azoture de sodium (AS ;  $\text{NaN}_3$ ). Il est Fourni au Cameroun par l'entreprise BST (*Biosciences and Technologies*).

### 2-4. Protocole d'induction de mutations

L'induction de mutations est réalisée suivant le protocole ci-dessous (**Figure 2**). Par ailleurs, les graines sont semées en champ suivant les traitements et en fonction du dispositif expérimental. Des données ont été collectées à partir des extraits de feuilles.



**Figure 2 :** Protocole d'induction de mutations. A : aménagement du site ; B : plants en cours de croissance ; C : feuilles matures utilisées pour la collecte des données phytochimiques (C1 : Locale 1, C2 : Hire et C3 : Yellen)

## 2-5. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé est celui en blocs complètement randomisé, disposant d'un ensemble de facteurs qui traduisent les caractéristiques de celui-ci (**Tableau 1**).

**Tableau 1 :** Caractéristiques du dispositif expérimental utilisé

Traitements	Significations	Traitements	Significations	Traitements	Significations
T0	Locale 1 + 0 g/L d'azote de Sodium	T4	Hire + 0 g/L d'azote de Sodium	T8	Yellen + 0 g/L d'azote de Sodium
T1	Locale 1 + 2 g/L d'azote de Sodium	T5	Hire + 2 g/L d'azote de Sodium	T9	Yellen + 2 g/L d'azote de Sodium
T2	Locale 1 + 4 g/L d'azote de Sodium	T6	Hire + 4 g/L d'azote de Sodium	T10	Yellen + 4 g/L d'azote de Sodium
T3	Locale 1 + 6 g/L d'azote de Sodium	T7	Hire + 6 g/L d'azote de Sodium	T11	Yellen + 6 g/L d'azote de Sodium

## 2-6. Collecte et analyse statistique

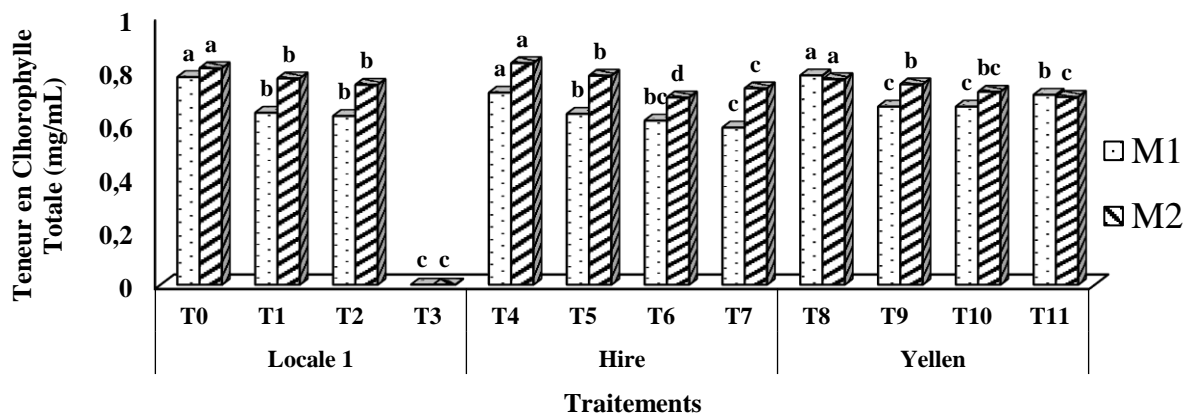
Les paramètres suivants utilisés pour caractériser le comportement des plants de gombo ont été évalués à 60 jours après semis, soit à 50 % de la floraison des plants (plantes en maturité) ; aussi, à partir des extraits de feuilles, six paramètres biochimiques pour chacune des variétés ont été mesurés. Il s'agit de la teneur en : chlorophylle totale (chl totale) [23] ; acides aminés totaux (AAT) [24] ; protéines solubles totales (PST) [25], sucres solubles totaux (SST) [26] ; polyphénols totaux (PPT) [27] ; flavonoïdes totaux (FT) [28]. Les

résultats relatifs à ces paramètres ont été soumis à une analyse de variance (ANOVA). Les tests de comparaison des moyennes ont été effectués de manière indépendante pour M1 et M2 selon la méthode de Duncan au seuil de 5 % paramétrée dans le logiciel SPSS 18.0.

### 3. Résultats

#### 3-1. Teneur en Chlorophylle Totale

La **Figure 3** illustre la variation de la réponse chlorophyllienne en fonction des traitements et suivant les générations. Ainsi, chez toutes les trois variétés, un comportement similaire manifesté par une diminution significative des valeurs de ce paramètre avec l'augmentation des doses d'azoture de sodium (AS) par rapport au témoin est enregistré. La baisse notée chez Locale 1 varie de 20,70 à 23,08 % en M1 et de 4,90 à 8,30 % en M2, respectivement pour T1 et T2. Chez Hire elle décroît de 12,42 à 22,22 % en M1 et de 6,04 à 18,36 % en M2, respectivement de T5 à T7. Dans le cas de Yellen, elle est réduite de 10,18 à 17,49 % en M1 et de 2,50 à 9,40 % en M2, respectivement de T8 à T11. Les présents résultats, traduisent une action plus sévère du mutagène à la première génération. Par ailleurs, chez Locale 1 la dose en  $\text{NaN}_3$  appliquée à T3 serait létale pour cette variété.



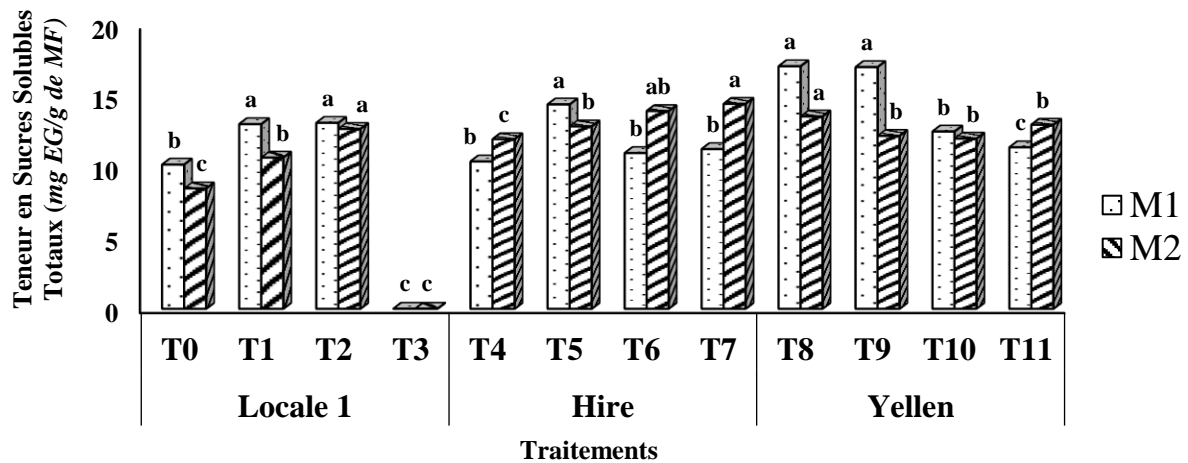
**Figure 3 :** Effet de l'azoture de sodium sur la teneur en Chlorophylle Totale de trois variétés de gombo à la M1 et M2

#### 3-2. Teneur en métabolites primaires

En se basant sur la **Figure 4**, il est observé que la réponse en sucres pour les trois variétés vis-à-vis des traitements utilisés n'est pas similaire, traduisant de ce fait un effet variété. C'est ainsi que, de manière significative et contrairement à la variété Yellen, Locale 1 et Hire enregistrent une augmentation de leurs valeurs pour les traitements ayant reçus l'AS. Cet accroissement chez Locale 1 varie 25,30 à 28,90 % en M1 et de 25,58 à 49,40 % en M2, respectivement pour T1 et T2. Chez Hire, elles croissent de 38,72 % (pour T5) en M1 et de 7,50 (pour T5) à 20,80 % (pour T7) en M2. Par contre, la baisse notée chez Yellen, varie de 36,82 (à T10) à 50,17 % (à T11) en M1 et de 4,93 (à T11) à 13,01 % (à T10) en M2. L'accumulation en ce métabolite a été plus importante à T2 (en M2) et T5 (en M1) respectivement pour Locale 1 et Hire. Le **Tableau 2** reproduit les quantités en métabolites protéiques élaborées par Locale 1, Hire et Yellen exposées ou non au  $\text{NaN}_3$ . L'observation générale faite révèle une fois de plus un effet variété, qui se traduit par un comportement différent pour chacune des trois variétés suivant les doses croissantes de



NaN<sub>3</sub>. En ce qui concerne les AAT, aucune variation significative n'est enregistrée chez Hire en M1 et M2. L'on note néanmoins, chez Yellen une augmentation significative de ce métabolite variant de 18,70 à 30,05 % en M1 respectivement de T9 à T11 et de 36,25 % (pour T11) en M2. Par contre, chez Locale 1 les valeurs de ce paramètre diminuent de 19,30 % en M1 et 22,22 % en M2 respectivement pour T2. Dans le cas des PST, l'on enregistre chez Yellen une amélioration significative de 4,20 à 30,13 % en M1 et de 5,10 à 28,26 % en M2 respectivement de T9 à T11. Par contre, pour Hire et Locale 1 une baisse significative de ce paramètre est enregistrée. Dès lors, une diminution de 13,87 % en M1 et 8,60 % en M2 est notée pour T7 ; par ailleurs, une réduction de 3,70 à 4,90 % en M1 et 8,04 à 9,87 % est respectivement relevée pour T1 et T2. L'accumulation en ces métabolites est plus importante chez Yellen, particulièrement pour T11 en M1 et M2.



**Figure 4 :** Effet de l'azoture de sodium sur la Teneur en Sucres Solubles Totaux des trois variétés de gombo à la M1 et M2

**Tableau 2 :** Effet de l'azoture de sodium sur la teneur en acides aminés totaux et protéines solubles totales de trois variétés de gombo à la M1 et M2

Variétés	Traitements	AAT		PST	
		M1	M2	M1	M2
Locale 1	T0	11,43 a	14,73 a	31,74 a	33,05 a
	T1	10,76 ab	14,31 a	30,24 b	31,16 b
	T2	9,58 b	12,05 b	30,59 b	30,08 b
	T3	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c
Hire	T4	9,26 a	8,34 a	31,03 a	31,67 a
	T5	8,21 a	8,14 a	30,81 a	31,93 a
	T6	8,19 a	7,51 a	31,12 a	31,49 a
	T7	8,35 a	7,85 a	27,25 b	29,16 b
Yellen	T8	8,65 c	7,53 b	25,22 d	24,87 c
	T9	10,27 b	7,48 b	26,28 bc	26,10 b
	T10	10,74 ab	8,20 b	27,95 b	27,45 b
	T11	11,25 a	10,26 a	32,82 a	31,90 a

\* AAT (mg Egly/g MF) = Acides Aminés Totaux ; PST (mg Eq BSA/g de MF) : Protéines Solubles Totales.

### 3-3. Teneur en métabolites secondaires

Les résultats d'analyses de l'effet de l'azoture de sodium sur la variation des composés phénoliques au sein de Locale 1, Hire et Yellen (**Tableau 3**) montrent globalement que, ces trois variétés manifestent des réponses différentes suivant les doses en AS. Les valeurs en PPT indiquent une absence de variations significatives enregistrées en M1 et M2 chez Hire. L'on note tout de même chez Yellen, une augmentation significative des teneurs en cette famille de métabolites, variant de 33,47 à 43,24 % respectivement de T9 à T11 en M1 et de 12,79 % (à T11) en M2. Par contre, chez Locale 1 ce paramètre diminue de 17,48 à 19,08 % en M1 et 12,72 à 49,14 % en M2 respectivement pour T1 et T2. Dans le cas des FT, l'on enregistre chez Hire et Yellen un accroissement significatif de leurs valeurs. Celles-ci varient pour Hire de 13,99 % en M1 et de 16,27 % en M2 respectivement pour T5. Par ailleurs, chez Yellen, elles oscillent de 17,11 à 28,91 % en M1 et 4,28 à 22,82 % en M2 respectivement de T9 à T11. En revanche, une diminution significative des valeurs de Locale 1 de 20,16 à 23,35 % en M1 et 12,82 à 28,57 % en M2 respectivement pour T1 et T2 est observée. L'accumulation en ces métabolites est plus importante à T11 (en M1) pour Yellen en ce qui concerne les PPT. Dans le cas de FT, elle est meilleure à T5 (en M2) et T11 (en M1) respectivement pour Hire et Yellen.

**Tableau 3 :** Effets de l'azoture de sodium sur les teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux de trois variétés de gombo à la M1 et M2

Variétés	Traitements	PPT		FT	
		M1	M2	M1	M2
Locale 1	T0	26,14 a	27,92 a	16,27 a	17,69 a
	T1	22,25 b	24,77 b	13,54 b	15,68 b
	T2	21,91 b	18,72 c	13,20 b	13,87 c
	T3	0,00 c	0,00 d	0,00 c	0,00 d
Hire	T4	22,25 a	23,09 a	14,34 b	14,87 b
	T5	23,22 a	23,19 a	16,26 a	17,29 a
	T6	22,83 a	22,66 a	14,13 b	14,81 b
	T7	23,42 a	23,01 a	14,62 b	14,97 b
Yellen	T8	16,37 b	22,12 b	11,04 c	13,54 b
	T9	21,85 a	22,14 b	13,32 b	14,12 b
	T10	22,86 a	23,94 ab	14,93 a	15,97 a
	T11	23,45 a	24,95 a	15,53 a	16,63 a

\* PPT (mg EAG/g de MF) = PolyPhénols Totaux ; FT (mg EQ/g de MF) = Flavonoïdes Totaux.

## 4. Discussion

### 4-1. Teneur en Chlorophylle Totale

La diminution significative des teneurs en Chltotale des traitements ayant reçus l'AS comparativement à leurs témoins correspondants, se justifierait par le fait qu'il y aurait une réduction du processus de formation des feuilles ainsi que celui du développement de la surface foliaire, impliquant la baisse de la fabrication des pigments chlorophylliens. Aussi, une baisse des valeurs obtenues à l'issue de l'application de ce mutagène sur des plantes telles que *Sorghum bicolor*, *Helianthus annuus* et *Catharanthus roseus* a été notée [29 - 31]. Du reste, des doses élevées en ce mutagène peuvent stopper les enzymes qui sont nécessaires pour l'initiation des feuilles affectant ainsi le taux de photosynthèse [32]. Par ailleurs, le traitement au NaN<sub>3</sub> augmente la production de molécules oxydatives [33]. L'accroissement en ces molécules

oxydatives est associé à une détérioration ou une destruction des chloroplastes, incluant une inhibition de la synthèse de la chlorophylle et ou une destruction de celle-ci [30] par peroxydation [34]. Par ailleurs, l'azote étant un constituant structural fondamental des molécules de chlorophylle, une inhibition de son assimilation liée à l'action de ce mutagène pourrait être l'origine de la baisse de la teneur en ce pigment. En outre, il a été observé qu'une carence en cet élément minérale perturbe la production et l'accumulation de la chlorophylle chez la lentille d'eau [35].

#### 4-2. Teneur en métabolites primaires

Les résultats obtenus, illustrant l'augmentation significative des SST chez les variétés Locale 1 et Hire seraient liés à un dérèglement physiologique induit par ce mutagène. Ce dysfonctionnement se traduirait par une forte conversion du CO<sub>2</sub> atmosphérique en sucres, suivie d'une réduction de la consommation de ses sucres (cas du glucose) à des fins du métabolisme cellulaire. En effet, ses hydrates de carbone constituent le substrat de base produit de la photosynthèse, à partir duquel de l'énergie (nécessaire au fonctionnement cellulaire), des acides aminés (unité de base des protéines : issue des chaînes carbonée glucidique + minéraux azotés du sol), des protéines (de la membrane cellulaire et enzymes) sont produits. Les résultats enregistrés suite à l'application de ce mutagène sur *Pisum sativum* et *Vicia faba* ont permis d'observer une augmentation des SST avec l'accroissement de la concentration en AS [11]. Ainsi, l'augmentation de la teneur en SST est un mécanisme de défense de la plante lié à son exposition au mutagène. Ce dernier induit une activation de certains gènes qui s'exprimeraient dans le sens de l'accumulation de ces osmolytes [36]. La réponse enregistrée pour les AAT et PST révèle une augmentation de ces métabolites chez Yellen. L'observation notée au niveau des AAT se justifierait par un accroissement de l'élaboration ceux-ci, donc la formation dépend de la combinaison des groupements amine provenant de l'ammoniaque minérale et des chaînes carbonés des sucres préalablement synthétisés. Aussi, l'évolution en AAT serait liée à une dépolymérisation de la structure des nucléoprotéines déjà formés en acides aminés [37]. Quant au PST, leur accroissement serait l'expression d'un mécanisme de régulation, en réponse à la déstructuration des protéines cellulaires essentielles causés par ce mutagène. En effet, pour compenser au besoin de la plante en ces métabolites, une accélération des processus de transcription et de traduction serait développée, impliquant une importance synthèse des molécules protéiques. Les résultats enregistrés suite à l'application de ce mutagène sur *Pisum sativum* et *Vicia faba* ont permis d'observer une augmentation des AAT et PST avec l'augmentation de la concentration en AS [11]. De surcroit, il a été noté que les traitements à l'AS induisaient un accroissement des valeurs en PST par rapport aux témoins chez *Trigonella foenum-graecum* [4]. Toutefois, la diminution de la teneur en protéines (cas observée chez Locale 1 et Hire) peut être causée par un processus de dégradation sévère des protéines résultant d'une activité accrue de la protéase [38]. Il est également probable que l'azoture de sodium ait provoqué une fragmentation des protéines en raison des effets toxiques des espèces réactives d'oxygène dont-il permet la production *in vivo* et qui entraînent une réduction de la teneur en protéines [30]. Par ailleurs, il a été observé que, l'effet du NaN<sub>3</sub> diminue le niveau cellulaire de calmoduline, une protéine se liant au calcium pour la transduction du signal et intervenant dans le processus de la division cellulaire [11, 39].

#### 4-3. Teneur en métabolites secondaires

Les résultats d'analyses permettant de révéler une amélioration en PPT pour Yellen puis de FT chez Hire et Yellen traduisent efficacement l'impact du NaN<sub>3</sub> sur la création de la variabilité au sein de cette plante. Les PPT et FT sont des molécules produites avec des vertus médicinales [40] et bioprotectrices [41] contre les agressions extérieures. Il se pourrait que l'action stressante du sel d'AS ait accru la fabrication de ces métabolites au sein de ces variétés, améliorant de ce fait leurs mécanismes de défenses ainsi que la valeur thérapeutique de celles-ci. Aussi, à partir des résultats obtenus sur Hire et Yellen, il a été noté par biais d'une autre expérimentation que dans 80 % des cas, l'augmentation de la concentration en AS provoquait



une évolution de la teneur en PPT et FT chez *Pisum sativum*, *Vicia faba* et *Trigonella foenum-graecum* [5, 33]. Les flavonoïdes sont fréquemment induits par les stress abiotique afin de promouvoir la protection des plantes [42]. Par ailleurs, Ceux-ci fonctionnent comme des antioxydants qui protègent les lipides membranaires de l'oxydation [43]. C'est ainsi qu'une quantité élevée en phénols et flavonoïdes observés au sein de *Trigonella foenum-graecum* implique une activité antioxydante (médicinale) plus élevée [44]. Cette dernière lutte contre la dégénérescence des composants cellulaires liés à l'âge [45]. Toutefois, il a été observé que, ces phénols possèdent des propriétés antimutagènes qui pourraient être impliquées dans la désactivation du mutagène [46]. Ceux-ci pourraient donc inactiver les intermédiaires réactifs formés à partir de l'AS [47]. Ainsi, ces métabolites sont capables d'inhiber à 82 % l'activité mutagène de l'azoture de sodium chez *Salmonella typhimurium* [48]. De manière spécifique, ils bloquent le transfert du mutagène dans le cytosol en fixant celui-ci sur les transporteurs de la membrane externe de la cellule [49]. Les composés phénoliques peuvent donc interagir directement et de manière non enzymatique avec le mutagène ou former un complexe entre eux et le mutagène (NaN<sub>3</sub> – Phénols), réduisant ainsi la biodisponibilité du mutagène [50]. De cette manière, pour Hire et Yellen, l'augmentation de leur production en ces composés biologiques suite à une exposition à l'AS traduirait une mise sur pied par ces variétés d'un mécanisme d'autorégulation dans l'intention de ramener ou de maintenir leur métabolisme à la normale. Les composés phénoliques sont donc de bons indicateurs de l'intensité de l'action d'un mutagène tel que l'AS dans une plante telle que le gombo.

## 5. Conclusion

Ce travail qui a évalué le comportement phytochimique de trois variétés de gombo exposées à l'azoture de sodium, a permis d'observer de manière générale une réponse variée en ce qui concerne l'élaboration des métabolites entre Locale1, Hire et Yellen. Toutefois, il est noté une amélioration de la réponse biochimique au sein de certaines d'entre elles, en fonction des traitements. Ainsi, ce mutagène a induit une augmentation maximale significative : en sucres à T2 (en M2) chez Locale1 et T5 (en M1) pour Hire ; en protéines à T11 (en M1) pour Yellen ; en flavonoïdes à T5 (en M2) pour Hire et T11 (en M1) pour Yellen. La mutagénèse par application de l'AS sur les graines de gombo permet d'augmenter la valeur nutritive (sucres et protéines) ainsi que bioprotective et médicinale (flavonoïdes) de cette plante. Cette méthode d'amélioration génétique devrait donc être vulgarisée sur d'autres variétés et plantes à forte consommation alimentaire et usages thérapeutiques encore non testées par ce mutagène, pour améliorer leurs richesses en métabolites.

## Références

- [1] - N. MIR MUHAMMAD, R. MUHAMMAD, NAZO N.-UL-AIN, H. A. N. SYED, H. K. ARIF & G. JUMA, Effect of chemical mutagens on growth of Okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). *Pure and Applied Biology*, 9 (1) (2020) 1110 - 1117
- [2] - A. KLEINHOF, W. M. OWAIS & R. A. NILAN, Azide. *Mutat. Res. Genet. Toxicol.*, 55 (1978) 165 - 195
- [3] - G. K. Navnath & P. K. Mukund, Effect of physical and chemical mutagens on pod length in Okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). *Sci. Res. Reporter*, 4 (2) (2014) 151 - 154
- [4] - P. G. BANSOD, S. R. SHRIVASTAV & V. A. ATHAWALE, Assessment of physical and chemical mutagenic effects of sodium azide on m1 generation of *Trigonella foenum-graecum* L. *International Journal of Recent Scientific Research*, 10 (7) (2019) 33695 - 33699
- [5] - N. NEHA, C. SANA, S. NIDHI, H. NAZARUL, A. AL S. NAJLA & A. EL-M. DIAA, Frequency and spectrum of M2 mutants and genetic variability in cyto-agronomic characteristics of fenugreek induced by caffeine and sodium azide. *Fontiers in Plant Science*, (2023) 21 p.

- [6] - T. A. BHAT, A. H. KHAN & S. PARVEEN, Comparative analysis of meiotic abnormalities induced by gamma rays, EMS and MMS in *Vicia faba* L. *J. Ind. Bot. Soc.*, 84 (2005) 45 - 48
- [7] - J. L. COOPER, B. J. TILL, R. G. LAPORT, M. C. DARLOW, J. M. KLEFFNER, A. JAMAI, EL-M. TARIK, L. SHIMING, R. RAE, N. NIELS, D. B. KRISTIN, M. KHALID, C. LUCA et H. STEVEN, TILLING to detect induced mutations in soybean. *BMC Plant Biol.*, 8 (9) (2008) 1 - 10
- [8] - N. GUPTA, S. SOOD, Y. SINGH & D. SOOD, Determination of lethal dose for gamma rays and ethyl methane sulphonate induced mutagenesis in okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *SABRAO J. Breed. Genet.*, 48 (3) (2016) 344 - 351
- [9] - ANONYME, Manuel d'amélioration des plantes par mutation-Troisième édition. Sous la supervision de M. M. Spencer-Lopes, B. P. Forster et L. Jankuloski. Vienne, FAO et AIEA. <https://doi.org/10.4060/i9285fr>, (2020) 270 p.
- [10] - W. R. ASHISH, R. H. NANDKISHOR & W. PRASHANT, Effect of sodium azide and gamma rays treatments on percentage germination, survival, morphological variation and chlorophyll mutation in musk okra (*Abelmoschus moschatus* L.). *Int. J. Pharm. Sci.*, 3 (5) (2011) 483 - 486
- [11] - K. M. SAAD-ALLAH, M. HAMMOUDA & W. A. KASIM, Effect of sodium azide on growth criteria, some metabolites, mitotic index and chromosomal abnormalities in *Pisum sativum* and *Vicia faba*. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 4 (4) (2014) 129 - 147
- [12] - M. A. EL-KHATEEB, A. RAWIA, K. H. I. EID HASHISH, H. A. ASHOUR & R. M. S. RADWAN, Determination of the effective of chemical mutagenesis using sodium azide to improvement of vegetative growth and flowering characteristics in *Helichrysum bracteatum* L. *Plant Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 13 (3) (2022) 1894 - 1904
- [13] - T. A. EMAN, Assessment Effect of Mutations on Genetic Variability of Yield and Its Components in some Genotypes of Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *J. of Plant Production*, 13 (12) (2022) 919 - 927
- [14] - Y. MIHRETU, G. WAYESSA & D. ADUGNA, Multivariate Analysis among Okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) Collection in South Western Ethiopia. *Journal of Plant Sciences*, 9 (2) (2014) 43 - 50
- [15] - A. ALI & S. S. DEOKULE, Comparison of phenolic compound of some edible plant of Iran and India. *Pak. J. Nutr.*, 7 (4) (2008) 582 - 585
- [16] - E. C. LEGBA, R. G. AHLINCOU, L. R. ATCHANHOUI, L. A. AGLINGLO, R. A. FRANCISCO, H. N. V. FASSINO & E. G. ACHIGAN-DAKO, Fiche technique synthétique pour la production du gombo (*Abelmoschus esculentus* L.). Editeur, Laboratory of Genetics Horticulture and Seed Science (GBioS). *ResearchGate*, N°10669 (2021) 1 - 6
- [17] - T. NGOC, N. NGO, T. VAN & V. PHUNG, Hypolipidemic effect of extracts from *Abelmoschus esculentus* L. (*Malvaceae*) on Tyloxapol-induced hyperlipidemia in mice. *Warasan phesatchasat*, 35 (2008) 42 - 46
- [18] - Anonyme, Series of crop specific biology documents: Biology of *Abelmoschus esculentus* L. *Ministry of Science and Technology Government of India, Department of Biotechnology*, (2011) 35 p.
- [19] - E. I. MOYIN-JESU, Use of plant residues for improving soil fertility pod nutrients root growth and pod weight of okra *Abelmoschus esculentum* L. *Bioresour. Tech.*, 98 (2007) 2057 - 2064
- [20] - S. CAPOT & D. PERUS, Les Enjeux De La Propriété Industrielle Appliquées Aux Semences Végétales. Cahiers Du Lab. RII : Documents De Travail, Université de la côte d'opale, Laboratoire de Recherche sur l'Industrie et l'Innovation, N°269 (2013) 1 - 27
- [21] - ANONYME, Document de Stratégie pour la Croissance et l'Emploi. Editeur : MINEPAT. Yaoundé, Cameroun, (2009) 112 p.
- [22] - ANONYME, Réorientation des systèmes de santé vers les soins de santé primaires, fondement résilient de la couverture sanitaire universelle, et préparatifs d'une réunion de haut niveau de l'Assemblée générale des Nations Unies sur la couverture sanitaire universelle: Rapport du Directeur general. Editeur: OMS, (2023) 11 p.

- [23] - D. I. ARNON, Copper enzymes isolated chloroplast, polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*, 24 (1949) 1 - 15
- [24] - E. M. YEMM & E. C. COCKING, The determination of amino acids with ninhydrin. *The Analyst*, 80 (1955) 209 - 213
- [25] - M. BRADFORD, A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 7 (72) (1976) 115 - 125
- [26] - E. M. YEMM & A. J. WILLIS, The estimation of carbohydrates in plants extracts by Anthron. *Biochemistry Journal*, 9 (2) (1954) 27 - 36
- [27] - G. MARIGO, Méthode de fractionnement et d'estimation des composés phénoliques chez les végétaux. *Analysis*, 2 (1973) 106 - 110
- [28] - O. A. AIYEGORO & A. OKOH, Preliminary phytochemical screening and in vitro antioxidant activities of the aqueous extract of *Helichrysum longifolium* DC. *BMC Complementary & Alternative Medicine*, 10 (21) (2010) 1 - 9
- [29] - D. M. UMAR, R. ERUM & M. RAFIQ, Physical and biochemical analysis of sodium azide treated *Sorghum bicolor* (L.) Monech. *Pak. J. Biotechnol.*, 8 (2) (2011) 67 - 72
- [30] - S. ELFEKY, S. ABO-HAMAD & K. M. SAAD-ALLAH, Physiological impact of sodium azide on *Helianthus annuus* seedlings. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 4 (5) (2014) 102 - 109
- [31] - V. MISTRY, T. PRAGYA, P. PARESH, S. V. GAJENDRA, L. GEUNG-JOO & S. ABHISHEK, Ethyl Methane Sulfonate and Sodium Azide-Mediated Chemical and X-ray-Mediated Physical Mutagenesis Positively Regulate Peroxidase 1 Gene Activity and Biosynthesis of Antineoplastic Vinblastine in *Catharanthus roseus*. *Plants*, 11 (2022) 1 - 27
- [32] - J. O. OMEKE, E. O. OJUA, N. M. EZE & N. E. ABU, Effect of sodium azide induction on morphological traits of *shombo* and *tatase* (*Capsicum annum* L.). *Nigerian Agricultural Journal*, 52 (1) (2021) 111 - 117
- [33] - M. HAMOUDA, K. M. SAAD-ALLAH & W. A. KASIM, Molecular and physiological responses of *Pisum sativum* and *Vicia faba* to sodium azide. *IJAAR*, 4 (6) (2014) 46 - 61
- [34] - A. H. PRICE & G. A. F. HENRY, Iron catalase oxygen radical formation and its possible contribution to drought damaged in nine native grasses three cereals. *Plant Cell and Environment*, 14 (1991) 477 - 484
- [35] - S. S. DEMIRORS, G. KESER & M. DOGAN, Effects of lead on chlorophyll content, total nitrogen, and antioxidant enzyme activities in duckweed (*Lemna minor*). *Int. J. Agric. Biol.*, 15 (1) (2013) 145 - 148
- [36] - N. M. EL-SHAFFEY, R. A. HASSANEEN, M. A. GABR & O. ELSHEIHYD, Pre-exposure to gamma rays alleviates the harmful effect of drought on the embryo-derived rice calli. *Australian Journal of Crop Science*, 3 (5) (2009) 268 - 277
- [37] - G. KUMAR, S. KESARWANI & V. SHARMA, Clastogenic effect of individual and combined treatment of Gamma rays and EMS in Lens culinary. *Journal of Cytology and Genetics*, 4 (2003) 149 - 154
- [38] - M. J. PALMA, M. L. SANDALIO, J. F. CORPAS & P. ROMERO, Plant proteases, protein degradation, and oxidative stress : role of peroxysomes. *Plant Journal and Biochemistry*, 40 (6) (2002) 521 - 530
- [39] - S. SIDDIQUI, M. K. MEGHVANSI & Z. HASAN, Cytogenetic changes induced by sodium azide (NaN<sub>3</sub>) on *Trigonella foenum-graecum* L. seeds. *South Afr. J. Bot.*, 73 (2007) 632 - 635
- [40] - A. E. O. ELKHALIFA, E. ALSHAMMARI, M. ADNAN, J. C. ALCANTARA, A. M. AWADELKAREEM, N. E. ELTOUM, K. MEHMOOD, B. P. PANDA & S. A. ASHRAF, Okra (*Abelmoschus esculentus*) as a Potential Dietary Medicine with Nutraceutical Importance for Sustainable Health Applications. *Molecules*, 26 (2021) 696
- [41] - E. H. D. FOTSO, A. C. DJEUANI, D. M. DJAMNDO & N. D. OMOKOLO, Evaluation des activités polyphénoloxydases, peroxydases et l'accumulation des composés phénoliques dans la résistance du manioc stimulé au Benzo (1, 2,3) thiadiazol-7-carbothionic acid-s-méthyl ester vis-à-vis de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 15 (3) (2021) 950 - 965

- [42] - R. A. DIXON et N. L. PAIVA, Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell*, 7 (1995) 1085 - 1097
- [43] - J. E. LI, S. T. FAN, Z. H. QIU, C. LI & S. P. NIE, Total flavonoids content, antioxidant and antimicrobial activities of extracts from *Mosla chinensis* maxim. Jiangxiangru. *LWT Food Sci. Technol.*, 64 (2015) 1022 - 1027
- [44] - H. NOREEN, N. SEMMAR, M. FARMAN & J. S. O. MCCULLAGH, Measurement of total phenolic content and antioxidant activity of aerial parts of medicinal plant *Coronopus didymus*. *Asian Pac. J. Trop. Med.*, 10 (2017) 792 - 801
- [45] - C. T. SULAIMAN & I. BALACHANDRAN, Total phenolics and total flavonoids in selected Indian medicinal plants. *Indian J. Pharm. Sci.*, 74 (2012) 258 - 260
- [46] - R. C. HORNL & V. M. F. VARGAS, Antimutagenic activity of extracts of natural substances in the *Salmonella*/microsome assay. *Mutagenesis*, 18 (2) (2003) 113 - 118
- [47] - S. GOWRI & P. CHINNASWAMY, Evaluation of *in vitro* antimutagenic activity of *Caralluma adscendens* Roxb in bacterial reverse mutation assay. *Journal of Natural Products and Plant Resources*, 1 (4) (2011) 27 - 34
- [48] - L. BIROSSOV, M. MIKULASOV & S. VAVERKOV, Antimutagenic effect of phenolic acids. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub*, 149 (2) (2005) 489 - 491
- [49] - T. HOUR, Y. LIANG, I. CHU & J. LIN, Inhibition of eleven mutagens by various tea extracts, (-) Epigallocatechin-3-gallate, Gallic Acid and Caffeine. *Food and Chemical Toxicology*, 37 (1999) 569 - 579
- [50] - E. G. DE MEJIA, E. CASTANO-TOSTADO & G. LOARCA-PINA, Antimutageniceffects of natural phenolic compounds in beans. *Mutation Research*, 441 (1999) 1 - 9