

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université ABDERRAHMANE MIRA - Bejaïa
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Alimentaires

Mémoire

Présenté par

M^{elle} SACI Fairouz

Pour l'obtention du Diplôme de Magister

Filière : Biologie

Option : Alimentation et Technologie Alimentaire

Thème

*Impact des conditions de conservation sur les substances
d'intérêt nutritionnel de quelques boissons*

Soutenu publiquement le : 05 Janvier 2014

Devant le jury composé de :

M ^{me} BENABDESSELAM Fadila	Professeur	Univ. de Béjaïa	Président
M ^{elle} LOUAILECHE Hayette	Professeur	Univ. de Béjaïa	Rapporteur
M ^{me} AIT BRAHAM Laila	M.C. A	Univ. de Béjaïa	Examineur
M ^r ZAIDI Farid	M.C. A	Univ. de Béjaïa	Examineur
M ^r KATI Djamel Edine	M.C. B	Univ. de Béjaïa	Invité

REMERCIEMENTS

Avant tout : Louange à celui qui nous a créé, protégé, aidé et m'a donné la patience et le courage pour pouvoir accomplir ce modeste mémoire.

Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

J'adresse mes plus sincères remerciements à ma promotrice madame le professeur LOUAILECHE pour m'avoir guidé durant toute l'année pratique, pour sa disponibilité, ses encouragements, ses nombreux conseils, qu'elle trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

J'exprime mes remerciements à Madame le Professeur BENABDESSELAM d'avoir accepté de présider le jury d'examination de ce mémoire, à Madame le Docteur AIT BRAHAM, à Monsieur le Docteur ZAIDI et à Monsieur le Docteur KATI, pour avoir accepté d'évaluer ce travail. Qu'ils trouvent dans ces phrases l'expression de mon profond respect.

Je tiens également à remercier tous les membres du laboratoire de Biochimie alimentaire et en particulier madame ZEMOURI, monsieur BACHIR BEY pour son aide dans l'analyse statistique et madame BESSATI pour sa disponibilité durant le déroulement de la partie expérimentale.

Je suis particulièrement reconnaissante à mademoiselle MEZIANI pour son soutien durant toute la préparation du mémoire.

Une pensée particulière à monsieur BOUHAFS pour sa disponibilité au quotidien et ses encouragements.

Dédicaces

*A ceux qui ont donné un sens à mon existence,
qui m'ont indiqué la bonne voie et
qui ont attendu les fruits de ma bonne éducation,*

A ceux qui m'ont soutenu jours et nuits, et durant tout mon parcours

A vous très chers parents, frères et sœur

A ces personnes, je leur dédie mon travail, « sans vous je ne serai pas là aujourd'hui. Vous avez fait de moi ce que je suis, je ne sais pas si le résultat est bon, mais au moins, je sais que pour vous ça vous va, et c'est capital à mes yeux ».

Je dédie aussi ce modeste travail à monsieur BOUCHIBANE le chef de service de la polyclinique de TIZWEEL, qui m'a donné la chance de suivre les études et de continuer le travail au sein de son établissement, au personnel du service notamment à mes collègues Samira, Habiba, Akila et Bahia pour leur compréhension et leur soutien morale.

A toutes ma famille, mes amies et mes copines

A toutes les mains qui m'ont été tendues.



LISTE DES FIGURES

Figures	Titres	Pages
01	Schéma du procédé de fabrication des boissons aux fruits.	08
02	Consommation mondiale des boissons fruitées selon la flaveur.	10
03	Origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène.	12
04	Classification des antioxydants.	13
05	Structures chimiques de quelques caroténoïdes de jus d'orange.	15
06	structure chimique de quelques flavonoïdes.	17
07	Structures chimiques de quelques composés phénoliques.	18
08	Les voies de la dégradation de l'acide ascorbique et les produits dérivés.	21
09	Schéma de la possible dégradation des caroténoïdes.	22
10	Réaction de Maillard, et formation d'HMF.	26
11	Evolution du pH des boissons analysées au cours de la conservation.	35
12	Evolution de l'acidité titrable des boissons analysées au cours de la conservation.	37
13	Evolution de l'indice réfractométrique des boissons analysées au cours de la conservation.	39
14	Formation de l'HMF au cours de la conservation des boissons analysées.	41

Liste des figures et tableaux

15	Evolution des glucides des boissons analysées au cours de la conservation.	43
16	Evolution des protéines des boissons analysées au cours de la conservation	45
17	Evolution des acides aminés des boissons analysées au cours de la conservation.	48
18	Evolution des teneurs en acide ascorbique au cours de la conservation des boissons.	51
19	Evolution des teneurs en caroténoïdes des boissons analysées au cours de la conservation	53
20	Evolution des teneurs en polyphénols totaux des boissons analysées au cours de la conservation.	57
21	Evolution des teneurs en flavonoïdes des flavonoïdes au cours de la conservation.	59
22	Evolution de l'activité antiradicalaire des boissons analysées au cours de la conservation.	62
23	Evolution du pouvoir réducteur des boissons analysées au cours de la conservation.	64

Liste des tableaux

Tableaux	Titres	Pages
I	Valeurs nutritionnelles de quelques boissons aux fruits	09
II	Effet de la durée de stockage sur les teneurs en sucres d'une boisson à base de grenade	23
III	Effet de la température de stockage sur les teneurs en sucres d'un jus de carotte concentré	23
IV	Effet de la température et de la durée de stockage sur les teneurs en acides aminés d'un jus de pêche concentré	24
V	Matrice de corrélation des résultats obtenus pour les boissons aux fruits analysées	67

LISTE DES ABREVIATIONS

ADN: Acide désoxyribonucléique

BNE: Brunissement non enzymatique

BRSA: les boissons rafraichissantes sans alcool

DPPH: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

EAA: Equivalent acide ascorbique

EAG: Equivalent acide gallique

EE: Equivalent epicatechine

EH: Equivalent hespéridine

EQ: Equivalent quercitine

ET: Equivalent Trolox

HMF: 5-Hydroxyméthylfurfural

pH : Potentiel hydrogène

PNNS: Programme National Nutrition Santé

PPO: Polyphénol oxydase

rpm : Rotation par minute

UHT: Ultra haute température

SOMMAIRE

Liste des figures et tableaux

Liste des abréviations

Introduction..... 01

Synthèse bibliographique

I. Les boissons

I.1. Les jus de fruits 03

- Jus de fruits 03
- Jus de fruits obtenu à partir d'un concentré 03
- Jus de fruits concentrés et déshydraté 03

I.2. Les nectars de fruits 04

I.3. Les boissons aux fruits 04

I.4. Classification Algérienne des boissons aux fruits 04

I.5. La composition des boissons aux fruits 05

I.5.1. Le concentré de jus et de purée de fruit 05

- Le concentré de jus de fruit 05
- La purée de fruits 05
- Le concentré de purée de fruits 05

I.5.2. Le sucre 05

I.5.3. Les additifs 06

- a) L'acide citrique 06
- b) L'acide ascorbique 06
- c) Les stabilisants 06
- d) Les colorants 06
- e) Les substances aromatiques 07

I.6. Procédé de fabrication des boissons aux fruits 07

I.7. Valeur nutritionnelle et thérapeutiques des boissons aux fruits 07

I.8. Production et consommation des boissons aux fruits 10

II. Le stress oxydatif et les principaux systèmes de défense

II.1. Les radicaux libres	11
II.2. Le stress oxydant	11
II.3. Les antioxydants des boissons aux fruits	12
II.3.1. L'acide ascorbique	12
II.3.2. Les caroténoïdes	14
II.3.3. Les composés phénoliques	16
• Les flavonoïdes	17

III. Stabilité des boissons aux fruits

III.1 Effet des conditions de stockage sur les boissons	19
III.1.1 Les acides organiques	19
III.1.2 L'acide ascorbique	19
III.1.3 Les caroténoïdes	21
III.1.4 Les glucides	22
III.1.5 Les acides aminés	23
III.1.6 Brunissement non enzymatique	25
III.1.7 Les composés phénoliques	27

Partie expérimentale

Matériels et méthodes

I. Echantillonnage	28
II. Paramètres physico-chimiques.....	28
II.1. Le pH.....	28
II.2. L'acidité titrable	28
II.3. L'indice réfractométrique (Brix).....	29
II.4. La teneur en hydroxymethyl furfural (HMF).....	29
II.5. La teneur en sucres totaux.....	29

II.6. La teneur en protéines	30
II.7. La teneur en acides aminés libres.....	30
III. Dosage des antioxydants	30
III.1. Dosage de l'acide ascorbique	30
III.2. Dosage des caroténoïdes	31
III.3. Les composés phénoliques.....	31
III.3.1. préparation des extraits	31
III.3.2. Dosage des polyphénols totaux.....	31
III.3.3 Dosage des flavonoïdes totaux	31
IV. Mesure de l'activité antioxydante.....	32
IV.1. Activité antiradicalaire	32
IV.2. Pouvoir réducteur.....	32
V. Analyse statistique	33

Résultats et discussion

I. Paramètres physicochimiques	34
I.1. Le pH	34
I.2. L'acidité titrable	36
I.3. L'indice réfractométrique	36
I.4. HMF.....	40
I.5. Les glucides	42
I.6. Les protéines.....	44
I.7. Les acides aminés	46
II. Les antioxydants.....	49
II.1. L'acide ascorbique	49
II.2. Les caroténoïdes	52
II.3. Les polyphénols totaux	55
II.4. Les flavonoïdes	56

III. Activité antioxydante	60
III.1. Activité antiradicalaire.....	60
III.2. Pouvoir réducteur.....	63
IV. Etude des corrélations.....	65
Conclusion et perspectives	69
Références bibliographiques	71
Annexe	



Introduction

INTRODUCTION

Dans l'organisme vivant, les radicaux libres interviennent dans de nombreux processus, au niveau des mécanismes de la défense immunitaire, ou la signalisation cellulaire. La quantité de ces radicaux est maintenue à l'intérieur de l'organisme par un équilibre entre les systèmes générateurs et les systèmes qui luttent contre ces oxydants. Depuis quelques années, le monde scientifique est envahi par un nouveau concept, celui du «stress oxydant», c'est-à-dire une situation où la cellule ne contrôle plus la quantité de radicaux libres produits, situation impliquée dans de nombreuses maladies. En raison de leur propriété oxydante, ces dérivés radicalaires peuvent endommager les molécules biologiques dont les acides gras, les protéines, l'ADN et les glucides (**Pincemail et al., 2002**).

Des études épidémiologiques ont montré que la consommation de fruits, légumes et leur jus est associée à une réduction du risque de maladies chroniques en raison de leur potentiel antioxydant (**Hyson et al., 2000**). Cependant, la consommation quotidienne préconisée de cinq portions par le Plan National Nutrition Santé (PNNS) semble difficile à atteindre. Pour pallier cette sous-consommation de fruits et légumes, due entre autres aux courtes périodes de disponibilité et de conservation et aux prix élevés ; les fruits et les légumes conservés ainsi que les boissons aux fruits peuvent être une bonne alternative.

D'ailleurs les recommandations nutritionnelles mondiales intègrent clairement le jus de fruits comme une portion de la consommation quotidienne en fruits et légumes, et les recommandations du PNNS prévoient ainsi qu'un verre de jus de fruits peut contribuer à une de ces cinq portions. En accord avec la norme générale CODEX des jus de fruits et nectars, « les jus de fruits ont les principales caractéristiques nutritionnelles, chimiques, physiques et organoleptiques du ou des fruits dont ils proviennent », avec l'avantage de la facilité de consommation et d'une plus longue conservation (**Fédération Internationale des producteurs de jus de fruits, 2005**).

La consommation de jus de fruits participe à une alimentation équilibrée (**Tasnim et al., 2010**) ; les jus de fruits sont une source de micronutriments, notamment la vitamine C (15 à 30 % des besoins selon l'âge) (**Braesco et al., 2013**).

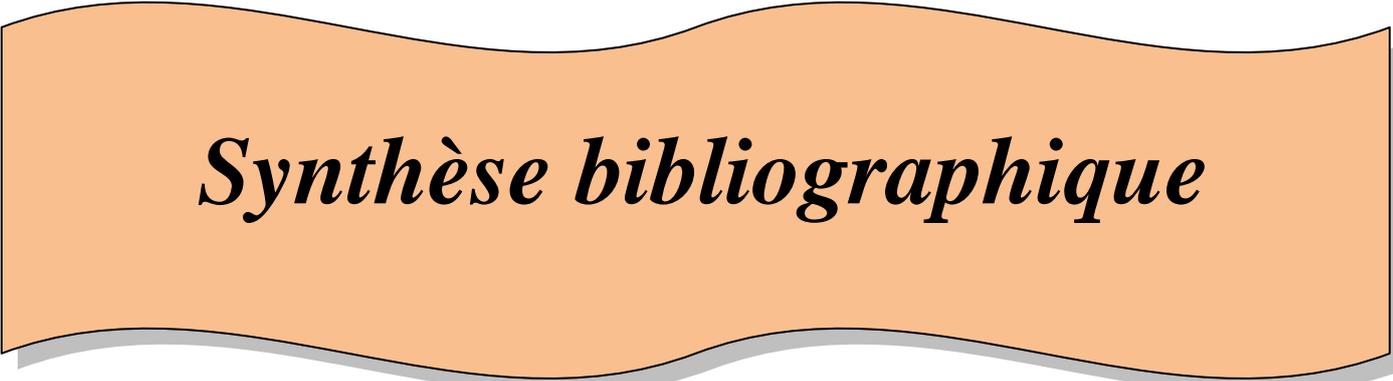
Aux cours de la conservation des boissons aux fruits à des températures qui atteignent les 22 à 25°C au printemps, et dépassent les 30°C en été (période où la

consommation de ces boissons est importante), des modifications des caractères physico-chimiques et de la qualité nutritionnelle engendrées par un nombre important de réactions de dégradation et d'hydrolyse (dégradation de l'acide ascorbique, hydrolyse des glucides et développement microbien) peuvent être observées.

La présente étude comprend deux parties principales :

- La première est une synthèse bibliographique comportant une vue générale sur les boissons aux fruits, le stress oxydatif et les principaux systèmes de défense antioxydants et un aperçu sur la stabilité des boissons aux fruits durant le stockage.

- La deuxième partie de ce travail est une étude expérimentale qui a pour objectif de :
 - Comparer les apports en substances d'intérêt nutritionnel (glucides, protéines, acides aminés libres, caroténoïdes, acides ascorbique, composés phénoliques, flavonoïdes) et l'activité antioxydante de trois boissons.
 - Suivre leur évolution au cours de la conservation à 25°C et 35°C durant 90 jours.

An orange banner with a wavy, ribbon-like shape, centered on the page. It has a thin black outline and a subtle drop shadow.

Synthèse bibliographique

I. Les boissons

Une boisson est un liquide destiné à la consommation. On trouve des boissons froides ou chaudes, alcoolisées ou non alcoolisées. Les boissons non alcoolisées englobent les boissons gazeuses, les boissons plates et les jus de fruits et nectars. Les boissons aux fruits sont regroupées dans les boissons plates ; elles sont différentes des jus de fruits. Par conséquent, la réglementation fait une nette distinction, en fixant les procédés d'obtention de chaque boisson.

I.1. Les jus de fruits

- **Jus de fruits**

Le jus de fruits est le liquide non fermenté, mais fermentescible, tiré de la partie comestible de fruits sains, parvenus au degré de maturation approprié et frais, ou de fruits conservés dans de saines conditions par des moyens adaptés et/ou par des traitements de surface post-récolte, appliqués conformément aux dispositions pertinentes de la Commission du Codex Alimentarius. Le jus est obtenu par des procédés adaptés qui conservent les caractéristiques physiques, chimiques, organoleptiques et nutritionnelles essentielles des jus du fruit dont il provient (**Commission du Codex Alimentarius, 2005**).

- **Jus de fruits obtenu à partir d'un concentré**

La norme générale codex pour les jus et les nectars de fruits (**CODEX STAN 247-2005**) définit le jus de fruits obtenu à partir d'un concentré comme le produit obtenu en remettant dans le jus de fruits concentré l'eau extraite du jus lors de la concentration, ainsi qu'en restituant les arômes et, les pulpes et les cellules que le jus a perdues, mais qui ont été récupérées lors du processus de production du jus de fruits dont il s'agit ou de jus de fruits de la même espèce. L'eau ajoutée doit présenter des caractéristiques appropriées, notamment du point de vue chimique, microbiologique et organoleptique, de façon à garantir les qualités essentielles du jus.

- **Jus de fruits concentrés et déshydratés**

La norme générale codex pour les jus et les nectars de fruits (**CODEX STAN 247-2005**) définit le jus de fruits concentré comme le produit obtenu à partir de jus de fruits d'une ou de plusieurs espèces par l'élimination physique d'une partie déterminée de l'eau de

constitution. Lorsque le produit est destiné à la consommation directe, cette élimination est au moins de 50 %.

Selon le **CODEX STAN 247 (2005)** le jus de fruits déshydraté est défini comme le produit obtenu à partir de jus de fruits d'une ou plusieurs espèces par l'élimination physique de la quasi-totalité de l'eau de constitution.

I.2. Les nectars de fruits

La norme générale codex pour les jus et les nectars de fruits (**CODEX STAN 247-2005**) définit le nectar de fruits comme le produit non fermenté, mais fermentescible obtenu en ajoutant de l'eau et de sucres et/ou du miel aux jus de fruits, jus de fruits obtenus à partir d'un concentré, jus de fruits concentrés et déshydratés, purée de fruits ou à un mélange de ces produits. L'addition de sucres et/ou de miel est autorisée dans une quantité non supérieure à 20 % en poids par rapport au poids total du produit fini.

Dans le cas de la fabrication de nectars de fruits sans addition de sucres ou à faible valeur énergétique, les sucres peuvent être remplacés totalement ou partiellement par des édulcorants, parmi ceux énumérés dans la *Norme générale pour les additifs alimentaires*.

I.3. Les boissons aux fruits

Ce sont des produits obtenus à partir du concentré de jus de fruit par restitution de la proportion d'eau extraite du jus lors de la concentration, l'eau ajoutée doit présenter des caractéristiques appropriées notamment du point de vue chimique, microbiologique et organoleptique (**Commission du Codex Alimentarius, 2005**).

La dénomination de boissons aux fruits est réservée aux boissons préparées à partir d'eau potable et de jus de fruits, jus de fruits concentrés, fruits ou un mélange de ces composants dans une proportion égale ou supérieure à 10 % de jus (**Boudra, 2007**).

I.4. Classification Algérienne des boissons aux fruits

L'Office National des Statistique (ONS) identifie la filière « Boissons » et ses sous filières au travers de la Section D « Produits Manufacturés » et Division 15 « Produits des Industries Alimentaires », Groupe 15.9.6 « Industrie des boissons », Classe 15.9.7 « Production des boissons rafraichissantes » et sous classe « boissons plates » qui regroupe « les boissons aux fruits ».

I.5. Composition des boissons aux fruits

I.5.1. Le concentré de jus et de purée de fruit

- **Le concentré de jus de fruit**

Un concentré de jus de fruits est le produit qui correspond au jus de fruits, après élimination physique de l'eau en quantité suffisante, pour porter la valeur Brix à un niveau supérieur de 50% au moins de la valeur Brix établie pour le jus reconstitué du même fruit (**CODEX STAN 247, 2005**).

- **La purée de fruits**

La purée de fruits est le produit non fermenté, mais fermentescible, obtenu par des procédés appropriés, par exemple en passant au tamis ou en broyant la partie comestible du fruit entier ou pelé sans en prélever le jus. Le fruit doit être sain, parvenu à un degré de maturation approprié et frais, ou bien conservé par des moyens physiques ou par un ou plusieurs traitements appliqués conformément aux dispositions pertinentes de la Commission du Codex Alimentarius.

- **La purée de fruits concentrée**

La purée de fruits concentrée est obtenue par élimination physique de l'eau de la purée de fruits en quantité suffisante, pour accroître la valeur Brix d'au moins 50% par rapport à la valeur Brix établie pour le jus reconstitué du même fruit (**CODEX STAN 247, 2005**).

I.5.2. Le sucre

Selon le rapport du groupe de travail PNNS (*Programme National Nutrition Santé*) sur les glucides 2007, le saccharose sous forme cristallisée ou liquide est le glucide essentiellement utilisé dans les boissons rafraichissantes sans alcool (BRSA). Une minorité de boissons contient en association avec le saccharose du sirop de glucose-fructose, sirop de glucose, ou des maltodextrines. Le sucre représente en moyenne 10% du volume du produit.

Les glucides ont trois fonctions principales :

- Agent de sapidité : les glucides contribuent à construire le goût et la saveur de la boisson (en synergie avec les arômes et les acidifiants).
- Agent de texture : les glucides apportent une certaine consistance au produit.
- Apport d'énergie rapidement assimilée.

I.5.3. Les additifs

a) L'acide citrique

L'acide citrique (E330) est l'acide organique le plus utilisé par l'industrie alimentaire ; sa large utilisation dans les boissons s'explique par son rôle de régulateur de l'acidité, antioxygène, agent de rétention de la couleur, agent chélateur des ions métalliques. La limite maximale d'utilisation de l'acide citrique dans les jus de fruits est fixée à 3000mg/l (**CODEX STAN 192, 1995**). Les acides organiques sont parfois utilisés comme des indicateurs de qualité des produits ; quelques acides organiques sont souvent employés durant le procès pour ajuster le rapport sucre/acide. Néanmoins, l'absence de certains acides spécifiques dans les produits à base de fruit est une indication du faible taux de jus incorporé (**Pasha et al., 1994**).

b) L'acide ascorbique

La teneur en acide ascorbique (E300) dans les jus de fruit n'est généralement pas imposée par la législation, pour cela son addition au cours de leur fabrication est autorisée. Les boissons aux fruits sont naturellement riches en vitamine C mais pour certaines raisons, l'industriel peut ajouter ce composé :

- Soit pour restaurer dans la boisson la quantité initialement présente et perdue lors du procès de fabrication, et réguler l'acidité de la boisson ;
- Soit pour enrichir la boisson dans le but d'attirer consommateur ;
- Soit en tant qu'anti oxygène pour assurer une meilleure conservation du produit au cours de son vieillissement (**Bruno et Nicolas, 2004**).

c) Les stabilisants

Les pectines (E440) sont des agents épaississants, gélifiants, stabilisants et émulsifiants autorisés par la commission de Codex Alimentarius (**CODEX STAN 192, 1995**).

d) Les colorants

Ce sont les substances qui ajoutent ou redonnent de la couleur à des denrées alimentaires ; ils permettent de pallier les pertes de coloration survenues pendant la production. Le β -carotène (E160) est le colorant le plus utilisé dans l'industrie des boissons, c'est un colorant naturel autorisé par la commission de Codex Alimentarius à condition qu'il ne dépasse pas 1000mg/L. Le β -carotène est stable en présence de l'acide ascorbique.

e) Les substances aromatiques

Les substances aromatiques d'un fruit sont constituées de plusieurs centaines de composés de faible masse moléculaire, provenant de différentes voies métaboliques des fruits, sont des mélanges complexes d'origine naturelle et/ou synthétique. Ils sont ajoutés aux aliments pour leur donner « odeur » et « arôme » (perception par voie nasale et rétro-nasale respectivement) et parfois « saveur » (perception linguale) et ce, dans deux buts principaux :

- Conférer une note spécifique à une denrée alimentaire ;
- Soutenir, voire restituer, une note aromatique préexistante, mais qui a été diminuée, ou modifiée par les opérations rendues nécessaires par le procédé de fabrication. En effet, les traitements thermiques sont susceptibles de réduire l'intensité ou de modifier profondément les caractéristiques sensorielles des ingrédients dotés de propriétés aromatisantes (**Blaquiere et al., 2006**).

I.6. Procédé de fabrication des boissons aux fruits

Le procédé de fabrication des boissons aux fruits se fait selon deux principales étapes (figure1) :

- Préparation du mélange (sirop fini)

La préparation du sirop fini se fait par pompage d'une quantité bien déterminée de concentré et ajout du sirop de sucre, ensuite le mélange est dilué avec de l'eau. Lors de cette étape d'autres substances telles que la pectine, l'acide citrique, les arômes et les conservateurs sont ajoutées en proportion bien déterminée.

- Pasteurisation et conditionnement du produit fini.

La pasteurisation est l'un des procédés utilisés pour prolonger la durée de conservation des aliments liquides ; afin d'éliminer les micro-organismes et d'inactiver les enzymes susceptibles d'altérer leur qualité organoleptique et nutritionnelle.

I.7. Valeur nutritionnelle et thérapeutiques des boissons aux fruits

Les boissons aux fruits sont riches en éléments nutritifs apportés par les jus et les purées de fruits incorporés (Tableau I).

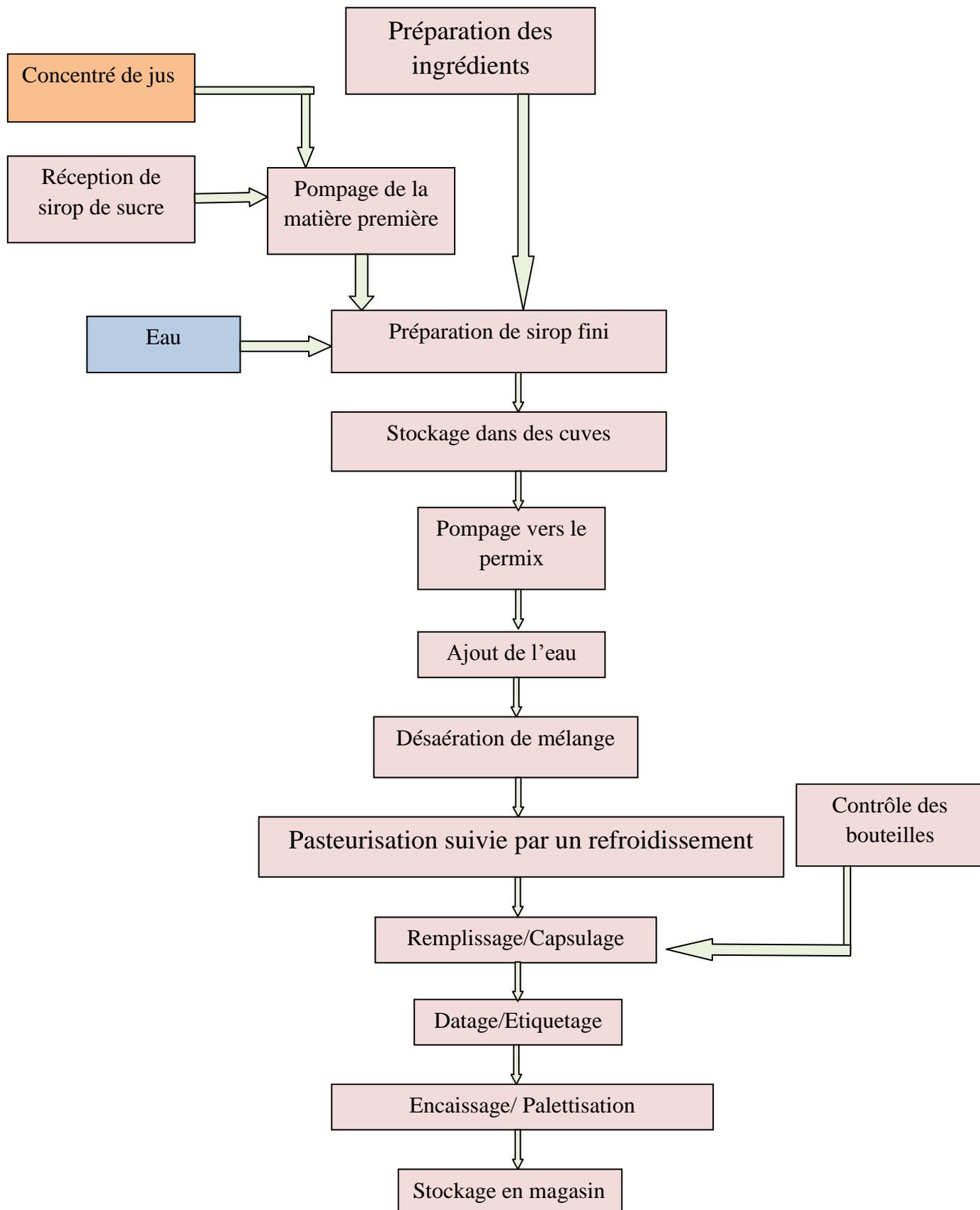


Figure 1 : Schéma du procédé de fabrication des boissons aux fruits.

Tableau I: Valeurs nutritionnelles de quelques boissons aux fruits (par 100ml) (Vierling, 2008).

Boissons	Extrait sec (g)	Protides (g)	Glucides (g)	Valeur énergétique (kcal)	Minéraux (mg)	Vit C (mg)	Vit E (mg)	Carotène (mg)	Pectine (mg)
Orange	13	0,2	10	40	380	45	0,13	0,074	54
Carotte	7	0,6	5	25	670	4	/	3	/
Citron	8,5	0,4	7,7	34	340	53	/	0,046	/
Pomme	12	0,01	12	50	270	1,4	0,45	0,045	32

Les jus de fruits contiennent un mélange complexe de nutriments qui sont bénéfiques pour le maintien d'une bonne santé, et ils ont des propriétés de réduction de risques de plusieurs maladies. En plus des principaux éléments nutritifs (par exemple, les vitamines, les minéraux), les jus contiennent aussi des composés phytochimiques (souvent appelé phytonutriments) qui sont dérivés du fruit. Ces substances sont censés d'agir comme des antioxydants (**Fédération Internationale des producteurs de jus de fruits, 2005**).

La littérature scientifique contient de nombreuses références qui confirment les propriétés des composants de fruits, de légumes et leur jus à réduire les risques de plusieurs maladies. Bien que la liste soit trop longue pour être présentée, quelques-uns de nombreux effets bénéfiques des jus de fruits sont indiqués ci-dessous :

- ♦ Le jus d'agrumes fournit suffisamment de vitamine C pour être une part importante du besoin quotidien.
- ♦ Le jus de raisin est une source importante d'antioxydants, notamment les polyphénols, qui ont un effet positif dans la prévention des maladies cardiovasculaires.
- ♦ La consommation quotidienne de jus de pamplemousse aurait la propriété de diminuer les taux de cholestérol sanguin.
- ♦ L'acide folique présent dans les jus d'orange, de pamplemousse et d'ananas réduit les risques de malformation du tube neural.

- ♦ La consommation de jus de canneberge a été associée à une réduction des infections urinaires.
- ♦ La consommation de jus de pommes est associée à une réduction du risque d'altération de la fonction pulmonaire.
- ♦ La consommation des fruits riche en potassium, ainsi que leur jus tel que les pruneaux, l'orange, la banane, la pêche et l'abricot peut aider à maintenir la tension artérielle (**Fédération Internationale des producteurs de jus de fruits, 2005**).

I.8. Production et consommation des boissons aux fruits

En 2007, la consommation nationale des boissons plates et de jus de fruits est estimée à 4,7litres/habitant/an, tandis que la production nationale annuelle est évaluée de 150 à 170millions de litres (**Boudra, 2007**). Selon le quotidien algérien de l'économie et des finances, édition de 24 septembre 2013, la production nationale des jus de fruits et des boissons fruitées est estimée à 0,5milliard de litres par an, alors que la consommation algérienne est de 6,5litres/habitant/an. En Europe, la consommation de jus de fruits et de nectars est estimée à 11,8milliards de litres en 2011, poussée par la hausse forte de consommation en Turquie. Cependant, au niveau mondial, une légère réduction de la consommation des jus de fruits et des nectars a été enregistrée en 2011, qui est due principalement à la forte baisse de la demande en Amérique du Nord, ainsi qu'en Russie (**European Fruit Juice Association, 2012**).

Concernant la flaveur, la consommation des boissons d'orange est dominante (38,5 %), et la boisson la moins consommée est celle d'ananas (Figure 2).

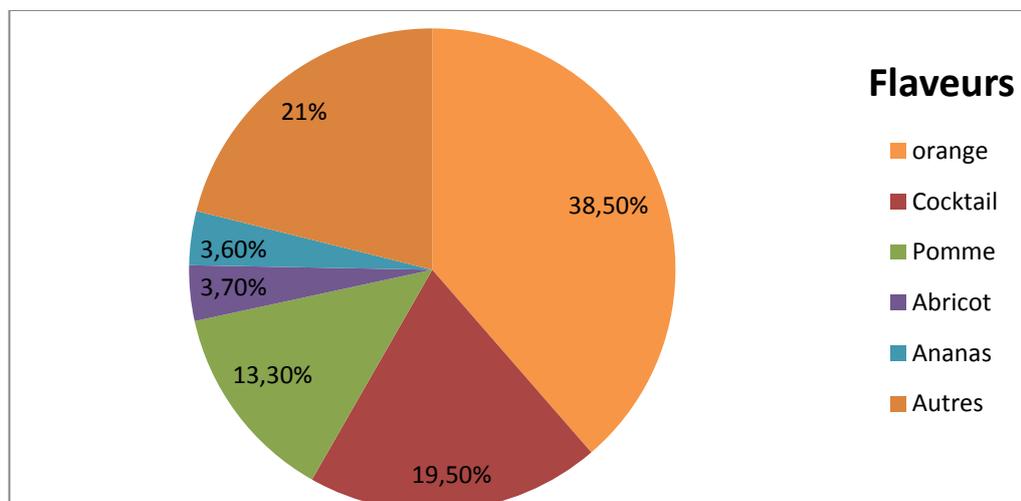


Figure 2: Consommation mondiale des boissons fruitées selon la flaveur (**European Fruit Juice Association, 2012**).

II. Le stress oxydatif et les principaux systèmes de défense

II.1. Les radicaux libres

Un radical libre est une espèce chimique, molécule ou atome, capable d'avoir, le plus souvent un ou plusieurs électrons célibataires (électrons non appariés sur une orbitale). Cela lui confère une grande réactivité donc une demi-vie très courte. En effet, ce radical libre aura toujours tendance à remplir son orbitale en captant un électron pour devenir plus stable (Figure 3) (**Fang et al., 2002, Davasagayam et al., 2004**).

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les espèces réactives de l'azote dont le radical hydroxyle (OH^\bullet), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), le superoxyde ($\text{O}_2^{\bullet-}$), le monoxyde d'azote (NO^\bullet) et le peroxydinitrite (ONOO), sont les principales sources du stress oxydatif dans les cellules, qui endommagent les protéines, les lipides et l'ADN (**Perron et Brumaghim, 2009**).

II.2. Le stress oxydant

La découverte d'espèces chimiques radicalaires présentes normalement dans l'organisme a bouleversé notre compréhension des mécanismes biologiques. Ces radicaux libres sont produits par divers mécanismes physiologiques car ils sont utiles pour l'organisme à dose raisonnable ; mais la production peut devenir excessive ou résulter de phénomènes toxiques exogènes, et l'organisme va devoir se protéger de ces excès par différents systèmes antioxydants.

Dans les circonstances quotidiennes normales, des radicaux libres sont produits en permanence, en faible quantité comme les médiateurs tissulaires ou les résidus des réactions énergétiques ou de défense (**Fang et al., 2002**). Cette production physiologique est parfaitement maîtrisée par des systèmes de défense, d'ailleurs adaptatifs par rapport au niveau de radicaux présents. Dans ces circonstances normales, on dit que la balance antioxydants/pro oxydants est en équilibre (**Chauhan et Chauhan, 2006**). Si tel n'est pas le cas, que ce soit par déficit en antioxydants ou par suite d'une surproduction de radicaux, l'excès de ces radicaux est appelé « stress oxydant ». Cette rupture d'équilibre, lourde de conséquence, peut avoir de multiples origines (**Chen et al., 2002**).

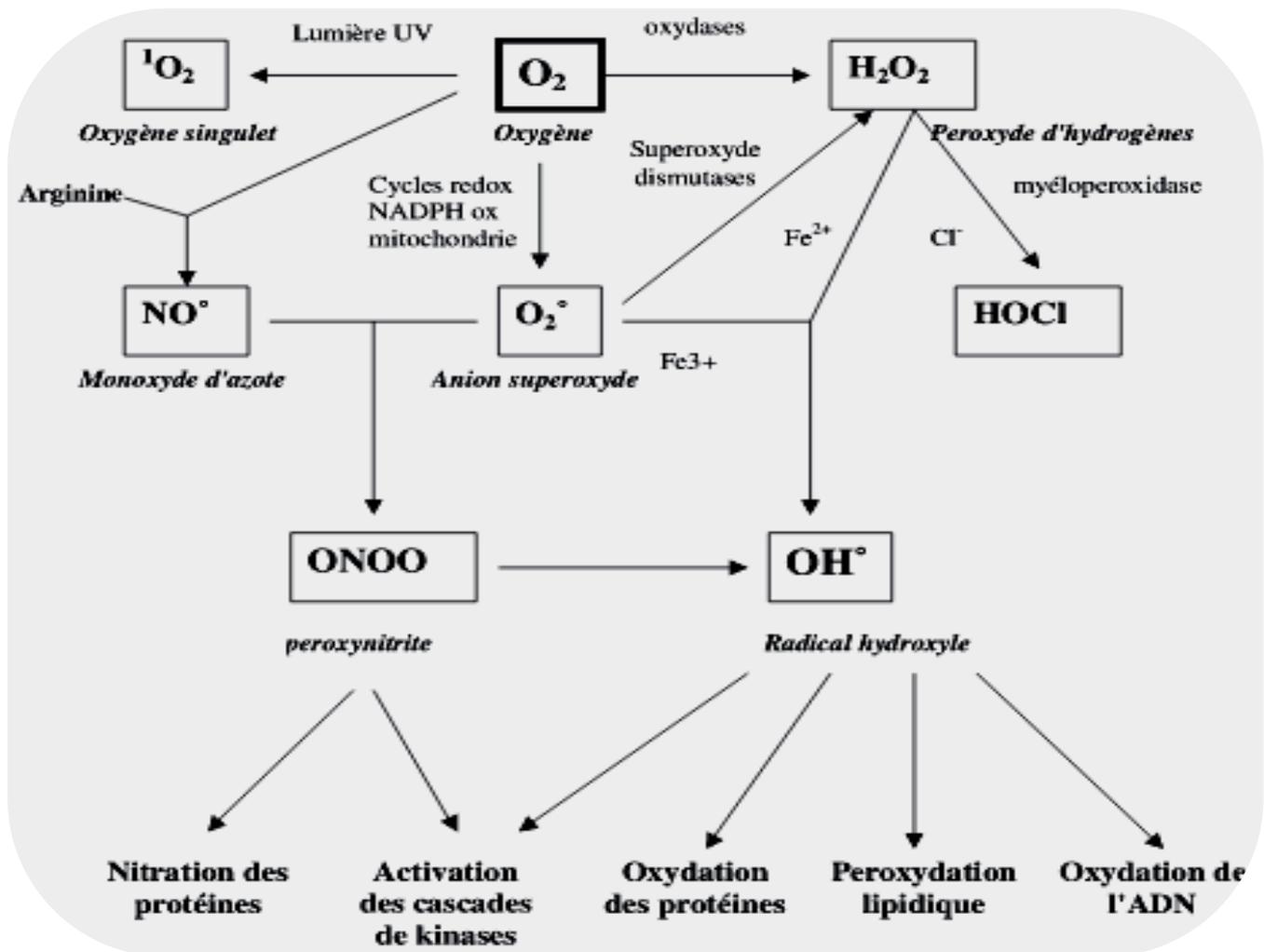


Figure 3 : Origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène (Favier, 2003).

II.3. Les antioxydants des boissons aux fruits

Un antioxydant peut être défini comme toute substance capable de neutraliser les radicaux libres, et prévenir ou réduire les dommages causés par eux, avant qu'ils réagissent avec des cibles biologiques. Certains de ces antioxydants sont produits de façon endogène (enzymes, molécules de faible poids moléculaire). Les antioxydants non enzymatiques sont obtenus à partir de l'alimentation (figure 4) (Ratnam *et al.*, 2006).

II.3.1. L'acide ascorbique

L'acide L-ascorbique est un antioxydant hydrosoluble très puissant, sa forme oxydée est l'acide deshydro ascorbique. Comme l'acide ascorbique n'est pas synthétisé par l'Homme, il doit être fourni par l'alimentation (Iqbal *et al.*, 2004).

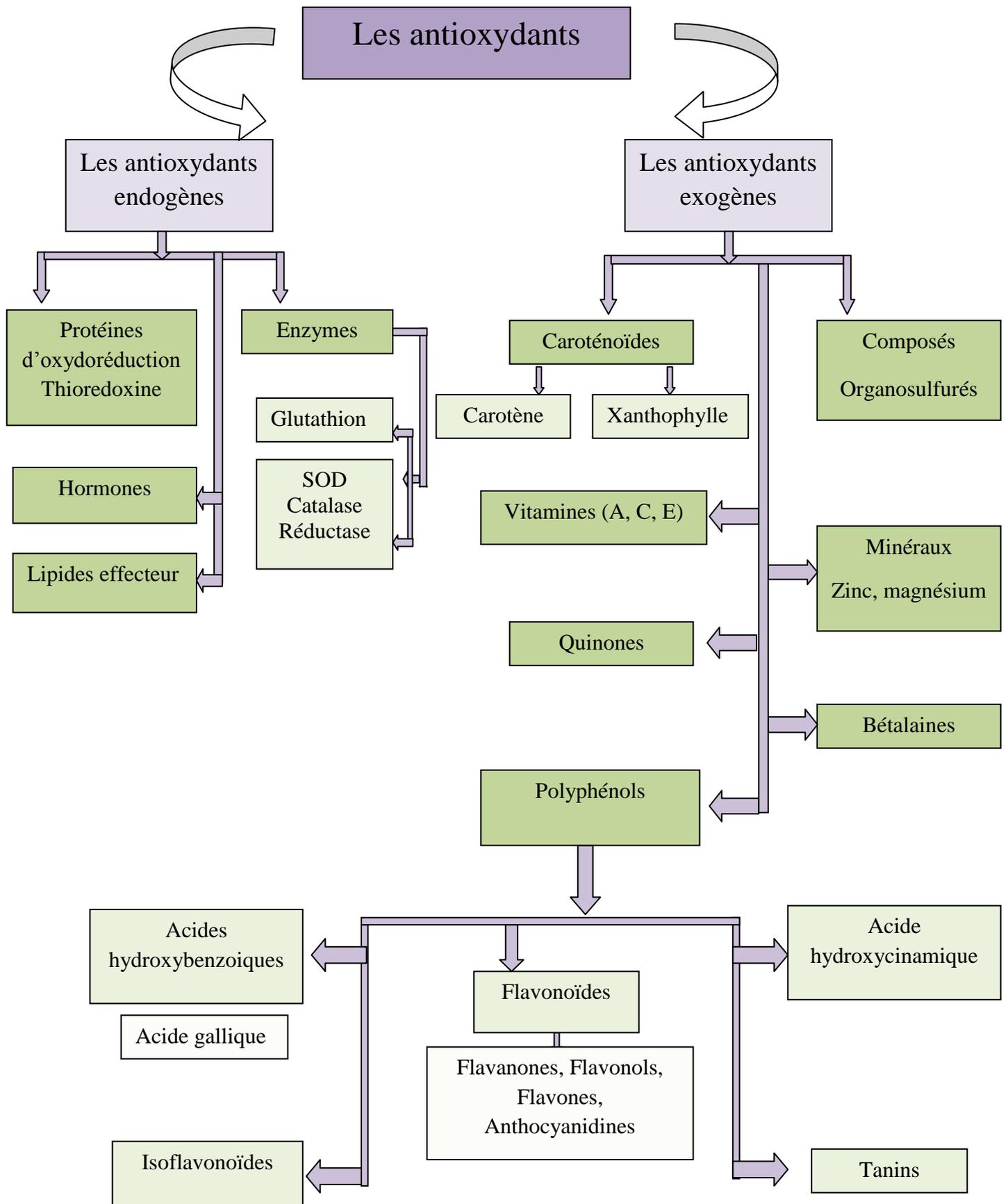


Figure 4 : Classification des antioxydants (Wootton-Beard et Ryan, 2011)

L'acide ascorbique est utilisé comme additif dans de nombreux aliments en raison de sa capacité antioxydante ; il augmente la qualité et les propriétés technologiques de l'aliment ainsi que sa valeur nutritive (**Burdurlu et al., 2006**). Les fruits et les jus de fruits constituent la principale source. Le jus de kiwi et des agrumes sont les jus les plus riches en vitamine C avec des teneurs de 98-190 et 50-100mg/100g respectivement (**Cioroi, 2007**).

❖ Propriétés antioxydantes

L'acide ascorbique est hautement sensible à l'oxydation, mais il a des propriétés antioxydantes et métaboliques très importantes. C'est une molécule fortement réductrice et sa réaction avec les dérivés oxygénés des radicaux libres semble être sa fonction biologique la plus importante (**Bourre, 2006**). La vitamine C joue aussi un rôle fondamental, en régénérant la vitamine E à partir de sa forme radicalaire (**Hacisevki, 2009**).

II.3.2. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont l'un des plus importants groupe de pigments naturels, en raison de leur large distribution et diversité structurale (**Taungbodhitham et al., 1998**). Bien que, la source principale de caroténoïdes soit les plantes, ils sont également présents chez les animaux. Les caroténoïdes sont des composés isoprénoïdes, liposolubles répartis en deux classes :

- Les carotènes, non polaires, qui présentent que des chaînes hydrocarbonées (α -carotène, β -carotène) et donnent les couleurs de l'orange vers le rouge.
- Les xanthophylles sont plus polaires à cause de la présence de l'oxygène dans leur structure (**Oliver et Palou, 2000**).

Les caroténoïdes sont largement distribués dans les fruits et les légumes avec des différentes concentrations, les carottes et les jus de carottes présentent les teneurs les plus élevées dont le β carotène est le caroténoïde le plus abondant (**Schieber et Carle, 2005**). Une étude réalisée par **Marx et al. (2000)** sur la détermination quantitative des isomères des jus de carottes, les résultats ont montré que les jus de carotte contiennent 140 à 146mg/l, et majoritairement du β -carotène *trans* avec des proportions variables d'isomères *Cis*. Pour le jus d'orange la lutéine, la violaxanthine, la mutatoxanthine, la zéaxanthine et

la cryptoxanthine sont les principaux caroténoïdes identifiés (figure 5) (Fратиanni *et al.*, 2010).

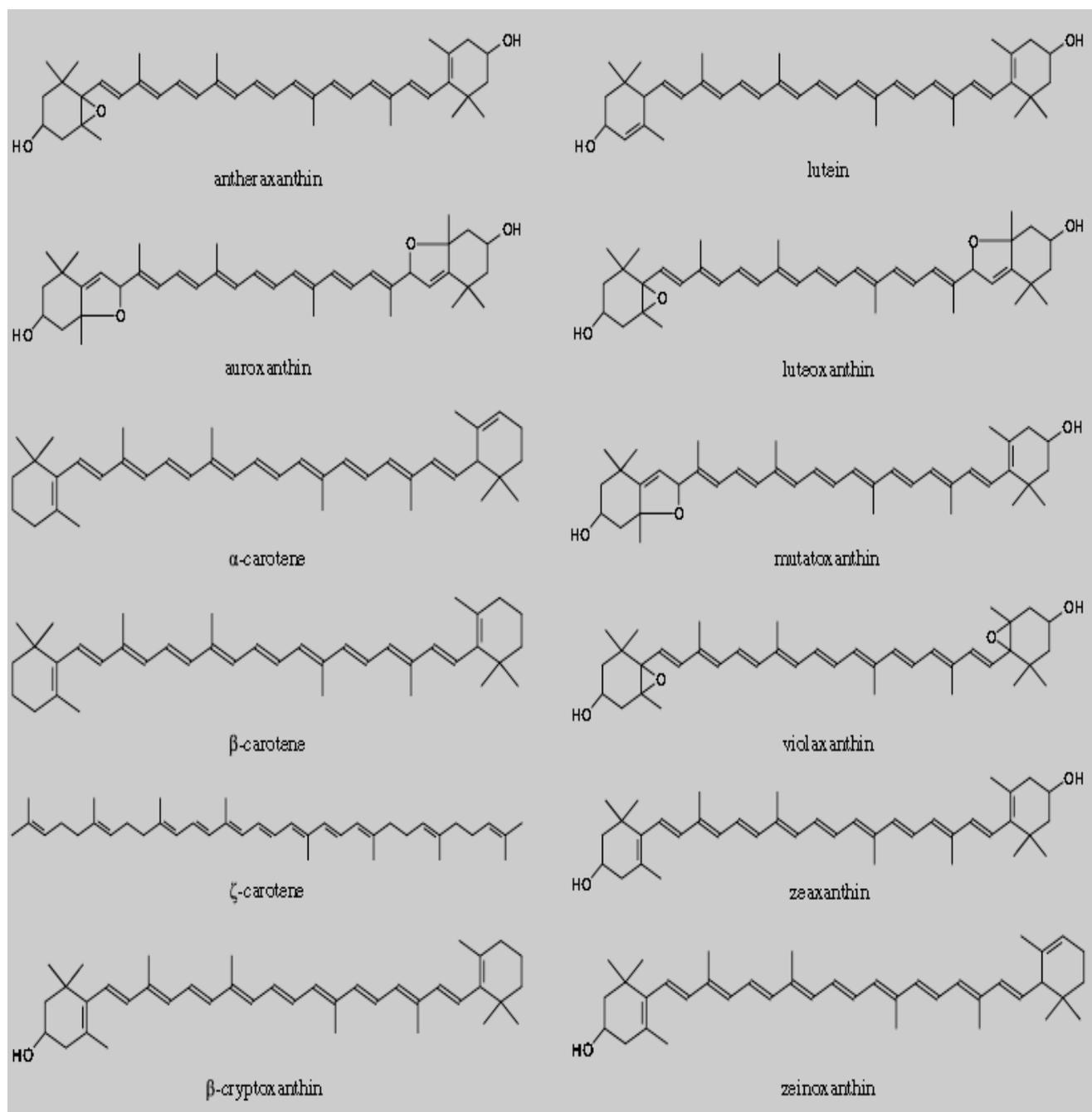


Figure 5 : Structures chimiques de quelques caroténoïdes de jus d'orange

(Melendez-Martinez *et al.*, 2007).

❖ Propriétés antioxydantes

Les caroténoïdes sont des excellents piègeurs de radicaux libres, grâce à leur longue chaîne polyinsaturée, qui leur confèrent des propriétés antioxydantes. Des études ont montré que le lycopène, un caroténoïde ayant une structure proche du β -carotène est le piègeur (*quencher*) le plus efficace de l'oxygène singulet. Les caroténoïdes peuvent aussi

interagir avec des radicaux lipidiques et inhiber ainsi leur peroxydation (**Rock, 1997 ; Pincemail, 1998 ; McNulty et al., 2007**).

❖ Effet thérapeutiques des caroténoïdes

Malgré la grande similitude de leur structure, les caroténoïdes ont des fonctions biologiques différentes d'un composé à un autre. Par dégradation oxydative, certains caroténoïdes servent de précurseurs de la vitamine A (rétinol), dont le rôle est primordial dans la perception visuelle. Les caroténoïdes sont également de puissants antioxydants capables de protéger nos cellules contre les attaques des radicaux libres, et d'exercer ainsi une action préventive contre un certain nombre de maladies dégénératives dont le cancer, la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) et la cataracte (**Tee, 1991 ; Rock, 1997 ; Gama et silos, 2005**).

Dans différentes lignées cellulaires, certains caroténoïdes (β -carotène, lycopène, lutéine, zéaxanthine, crytoxanthine) agissent de manière spécifique et très efficace dans la suppression de tumeurs cellulaires. Ces caroténoïdes sont susceptibles d'améliorer la communication intercellulaire des signaux régulateurs de croissance, qui est déficiente dans de nombreuses tumeurs, en restaurant cette communication, la prolifération des cellules cancéreuses est ralentie (**Pincemail et al., 1998**).

II.3.3. Les composés phénoliques

Les composés phénoliques, appelés communément polyphénols, constituent le groupe de métabolites le plus large et le plus répandu du règne végétal, et font partie intégrante de l'alimentation humaine et animale. Leur structures et fonctions sont très diverses. Ils possèdent, au minimum, un cycle aromatique portant un à plusieurs groupes hydroxyles. Ces structures sont facilement oxydées par les espèces oxygénées radicalaires, propriété qui leur confère leur capacité à piéger les radicaux libres (**Robards et al., 1999**). Selon **D'Archivio et al. (2007)**, les composés phénoliques peuvent être classés par rapport à leur structure en acides phénoliques, flavonoïdes, tannins, phénols, stilbènes et lignanes.

Les polyphénols sont présents dans de nombreux aliments d'origine végétale dont les légumes, les fruits, les jus de fruits, huile d'olive, ainsi que dans les boissons, comme le thé. Plus de 8000 structures phénoliques sont connues, allant de molécules phénoliques

simples de faible poids moléculaire (acides phénoliques) aux composés hautement polymérisés comme les tannins (**Karaman *et al.*, 2010**).

➤ Les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont les constituants majoritaires des polyphénols ; plus de 5000 composés, sont identifiés. Ce sont des pigments universels des végétaux, responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles (**D'Archivio *et al.*, 2007**). Des données expérimentales démontrent que ces molécules ont des propriétés anti-inflammatoires, anti-allergisantes, anti-tumorales et anti-carcinogènes. Ces propriétés sont directement liées à leur haute réactivité grâce à leur groupement hydroxyles (**Pereira *et al.*, 2009**). Les flavonoïdes ont aussi la capacité d'inhiber la peroxydation des lipides (**Haytowitz *et al.*, 2013**).

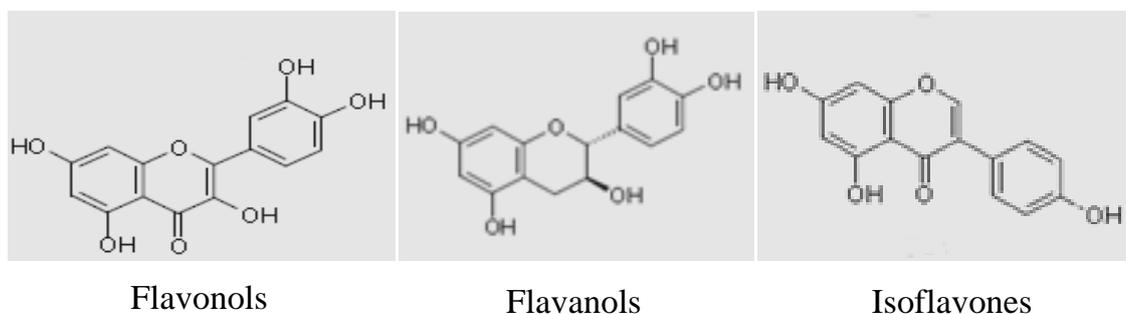


Figure 6 : structure chimique de quelques flavonoïdes (**Pereira *et al.*, 2009**).

Les flavonoïdes sont classés selon leur structure en flavonols (quercitine, très abondante dans la pomme), flavanones (hespérétine, abondante dans les agrumes), flavones, flavanols (catéchines, abondante dans la plupart des fruits), anthocyanines (abondant dans les fruits et légumes), Isoflavones et proanthocyanidines (figure 6) (**Miller, 1996 ; Scalbert *et al.*, 2005**).

la variation de la quantité et la qualité des composés phénoliques est due à la variété de fruit et le procès de fabrication des jus (**Haytowitz *et al.*, 2013**). Les principaux composés phénoliques identifiés dans un jus de pomme sont l'acide chlorogénique, les acides hydroxycinnamiques, les procyanidines, la phloridzine, l'acide caféique, l'acide coumarique et l'acide férulique (**Sluis *et al.*, 2004 ; Karaman *et al.*, 2010**). Les acides chlorogéniques et hydroxybenzoïques, ainsi que de nombreux dérivés de l'acide

cinnamique sont les principaux composés phénoliques d'un jus de carotte (figure 7) (Ma *et al.*, 2013).

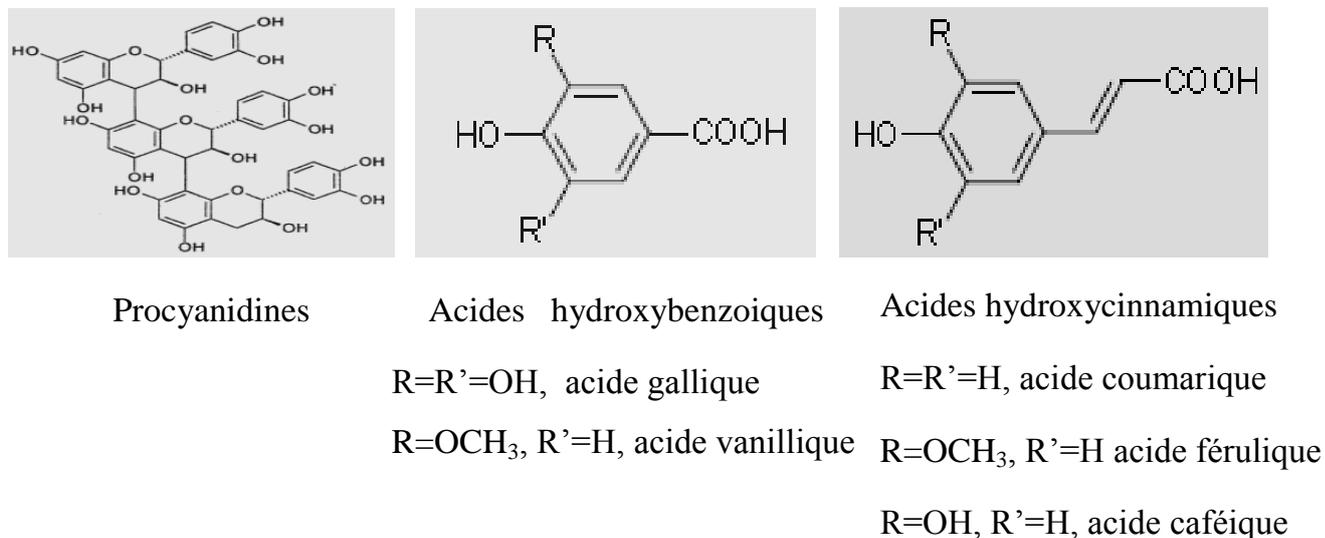


Figure 7 : Structures chimiques de quelques composés phénoliques (Pereira *et al.*, 2009).

❖ Propriétés antioxydantes des composés phénoliques

Les polyphénols présents dans les aliments peuvent aider à limiter les dommages oxydatifs en agissant directement sur les espèces réactives de l'oxygène, ou en stimulant les systèmes de défense endogène (Scalbert *et al.*, 2005). Les polyphénols sont multifonctionnels dans le sens où ils peuvent agir comme agents réducteurs, donneurs de l'atome d'hydrogène, piègeurs de l'oxygène singulet et chélateurs de métaux (Karaman *et al.*, 2010). Les composés phénoliques ont aussi la capacité d'inhiber certaines enzymes impliquées dans la production de radicaux, telles que la lipoxygénase, cyclo-oxygénase et la xanthine oxydase (Pereira *et al.*, 2009).

❖ Effets thérapeutiques des composés phénoliques

Comme antioxydants, les polyphénols peuvent protéger les constituants cellulaires contre les dommages oxydatifs, et par conséquent, limiter les risques de diverses maladies dont le développement des cancers, les maladies cardiovasculaires, neuro-dégénératives, le diabète et l'ostéoporose (Scalbert *et al.*, 2005).

III. Stabilité des boissons aux fruits

Le jus est un produit très sensible, sa composition nutritionnelle et ces propriétés physico-chimiques peuvent facilement changer lors de sa conservation. La couleur, la turbidité et la valeur nutritionnelle sont les caractéristiques principales de qualité d'un jus. La perte de certains nutriments tels que l'acide ascorbique pourrait être un facteur critique pour la durée de conservation de jus. En outre, les jus présentent une source importante de composés phénoliques, qui sont aussi actuellement considérés comme une mesure de la qualité du produit (Suárez-Jacobo *et al.*, 2012).

III.1 Effet des conditions de stockage sur les boissons

Les glucides, l'acide ascorbique, les acides organiques, les acides aminés et les composés phénoliques sont parmi les principaux constituants des fruits et de jus de fruits. Ces composés sont utiles pour surveiller la qualité des fruits pendant la maturation, la transformation et le stockage, et contribuent à la qualité nutritionnelle et sensorielle à la fois des fruits frais et des jus (Versari *et al.*, 2008).

III.1.1 Les acides organiques

L'identification et la quantification des principaux acides organiques des fruits sont très importantes pour la technologie des boissons, et l'évaluation de leur qualité, car ces acides sont moins sensibles au traitement thermique, et aux conditions de stockage, que les autres composants de fruits (Karadeniz, 2003). Le changement de la teneur en acides organiques d'un jus de fruits peut être un indice d'une contamination bactérienne. Les résultats de Nour *et al.* (2010) ont montré que les principaux acides organiques présents dans les jus d'agrumes sont l'acide citrique (16 à 1000mg/l), l'acide malique (20 à 2000mg/l), l'acide tartrique (1 à 700 mg/l), l'acide oxalique (0,2 à 300 mg/l).

III.1.2 L'acide ascorbique

L'acide ascorbique est un composé bioactif très sensible à l'oxydation, au traitement thermique et aux conditions de stockage (Suárez-Jacobo *et al.*, 2012). L'étude de la rétention de l'acide ascorbique est effectuée afin d'évaluer l'impact des procédés de transformations sur la valeur nutritionnelle des aliments. L'acide ascorbique est considéré comme un indicateur de perte des vitamines, et d'autres composants organoleptiques ou nutritionnels (Barba *et al.*, 2012).

L'acide ascorbique ajouté aux boissons est facilement oxydé et dégradé ; le taux de perte dépend de conditions de stockage, la température, le pH, la teneur de jus en sucre, l'acide ascorbique, l'oxygène, la lumière et la présence de catalyseurs métalliques. Ce fait est d'une grande importance pour le consommateur qui doit savoir comment stocker les boissons, et le moment de les consommer afin de tirer profit au maximum de cette vitamine (**Kabasakalis *et al.*, 2000 ; Johnson *et al.*, 2013**).

La dégradation de l'acide ascorbique est considérée comme étant la réaction de détérioration principale, qui aura lieu lors du stockage d'un jus. En outre, il existe une grande corrélation entre le pourcentage de perte en acide ascorbique et l'augmentation de brunissement de jus. Il est généralement admis que les produits de dégradation de l'acide L ascorbique et/ou des sucres, tel que, le furfural, l'hydroxyméthylfurfural (HMF), ou d'autres composés carbonylés participent au brunissement des jus (**Bharate et Bharate, 2012**). L'acide ascorbique est facilement converti en acide déshydroascorbique par oxydation modérée, mais la perte de l'activité vitaminique survient après la formation de l'acide 2,3-dicétogulonique, ensuite une chaîne de réaction se produit pour former l'acide furoïque, et le 3-hydroxy-2-pyrone (**Roig *et al.*, 1999**). Sous les conditions anaérobiques, l'acide ascorbique se dégrade en furfural (Figure 8). L'oxydation de l'acide ascorbique se produit principalement lors du traitement des jus, tandis que sa dégradation anaérobie apparaît principalement au cours du stockage (**Burdurlu *et al.*, 2006**).

Plusieurs études ont montré que la teneur en acide ascorbique des jus diminue selon les conditions de stockage (la température et la durée de conservation). Les résultats obtenus par **Kabasakalis *et al.* (2000)** montrent des concentrations de l'acide ascorbique qui varient de 2,4 à 43mg/100ml des jus de fruits. Après 4 mois de stockage à température ambiante, ces jus de fruits enregistrent des taux de pertes allant de 29 à 41%.

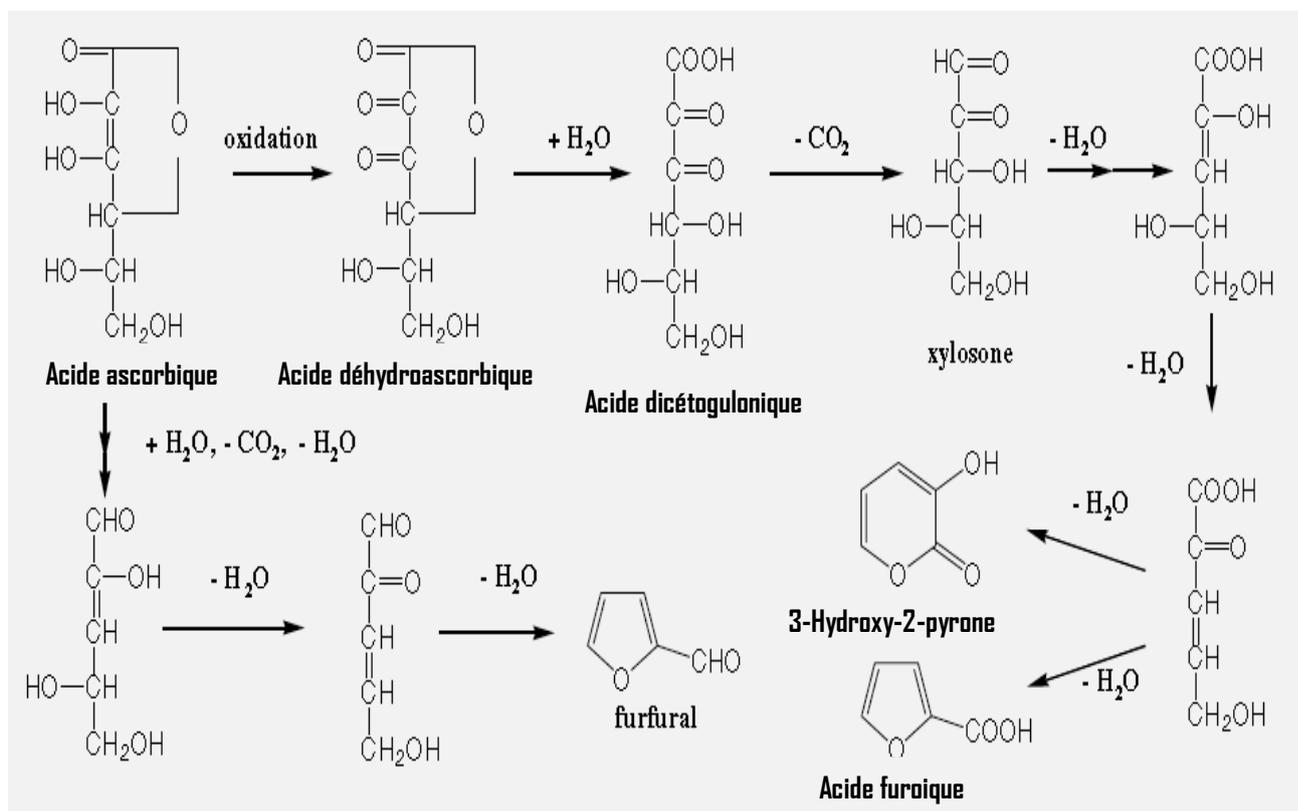


Figure 8 : Les voies de la dégradation de l'acide ascorbique et les produits dérivés (Shinoda *et al.*, 2005).

III.1.3 Les caroténoïdes

La nature et la composition de l'aliment, le type d'emballage, la lumière, la température sont des paramètres qui favorisent l'isomérisation des caroténoïdes, alors que l'oxygène incite leur oxydation. L'oxydation des caroténoïdes dépend de la quantité d'oxygène disponible, la quantité et la structure des caroténoïdes, ainsi que les conditions physiques. Il est généralement admis que la phase initiale de l'oxydation implique l'époxydation, et la formation des apocarotenals. La fragmentation ultérieure mène à une série de composés de faible poids moléculaire (figure 9) (Dutta, 2005). Il est intéressant de souligner que la stabilité des caroténoïdes de jus augmente en présence de l'acide ascorbique. Une étude menée par Choi *et al.* (2000) traite l'effet de l'acide ascorbique sur la stabilité des caroténoïdes d'un jus d'orange sanguine au cours d'un stockage réfrigéré (7 semaines). Les résultats de cette étude ont montré que le jus enrichi en acide ascorbique présente une meilleure stabilité durant le stockage en comparant au jus non enrichi.

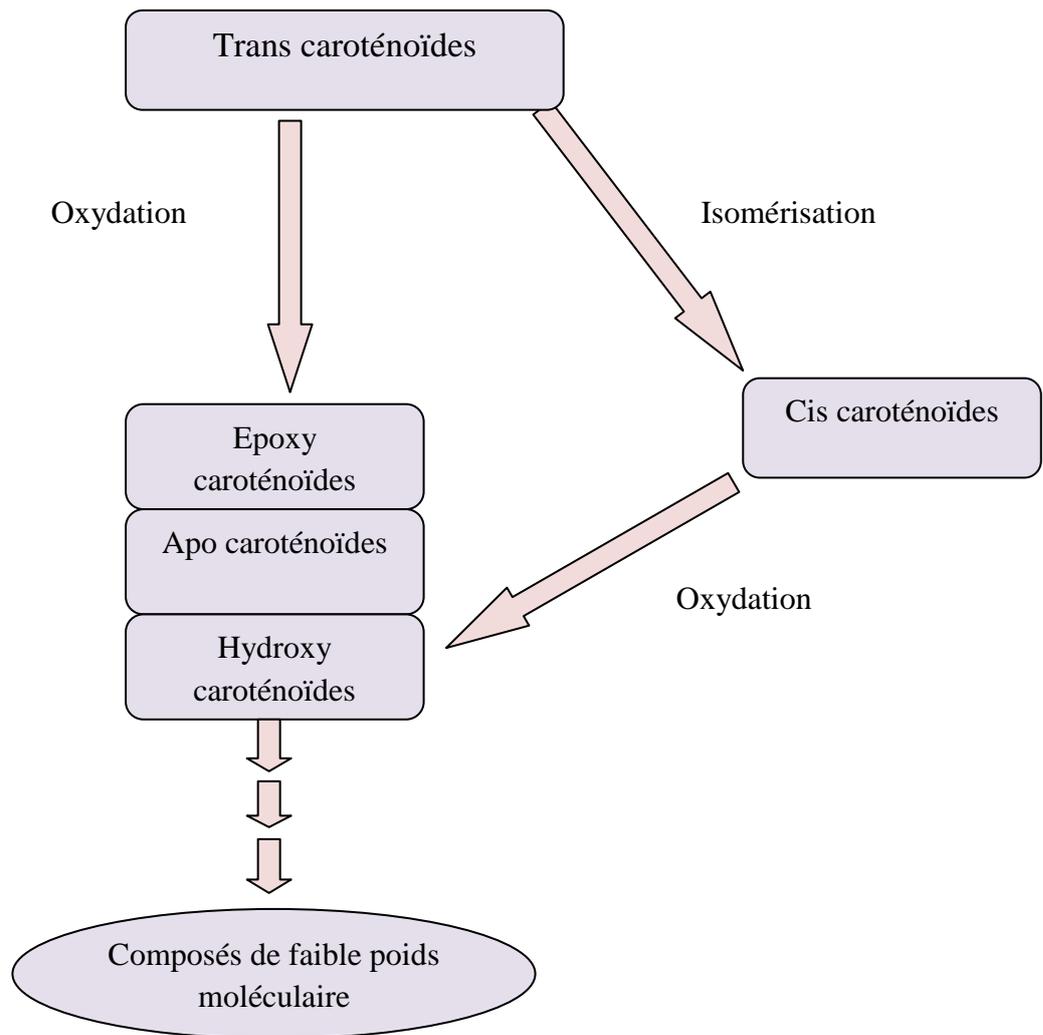


Figure 9 : Schéma de la possible dégradation des caroténoïdes (Rodriguez-Amaya, 2004).

III.1.4 Les glucides

Le stockage prolongé et les températures élevées peuvent influencer les teneurs en glucides des jus, favorisent ainsi la transformation des sucres réducteurs en produits de la réaction de Maillard (Burdurlu et Karadeniz, 2003). Les sucres de jus peuvent aussi être fermentés par les micro-organismes présents dans le jus (Chia *et al.*, 2012).

Une étude menée par Akhtar *et al.* (2013) traite la stabilité d'une boisson à base de grenade au cours de la conservation, les résultats montrent qu'après 90 jours de stockage à la température ambiante la teneur en sucres totaux de la boisson analysée reste constante, tandis que la teneur en sucres réducteurs augmente tout au long de la période de stockage (Tableau II). Wang *et al.* (2006) ont constaté que le taux des sucres d'un jus de carotte

concentré (20°Brix) peut changer au cours de stockage même à des températures basses (-18 et 0°C) (Tableau III).

Tableau II: Effet de la durée de stockage sur les teneurs en sucres d'une boisson à base de grenade (Akhtar *et al.*, 2013)

Durée \ sucres	0jour	30jours	60jours	90jours
Sucres totaux%	13,00	13,00	13,00	13,00
Sucres réducteurs%	02,06	03,63	04,00	04,60
Saccharose %	10,40	09,36	09,00	08,40

Tableau III: Effet de la température de stockage sur les teneurs en sucres d'un jus de carotte concentré (Wang *et al.*, 2006)

T°C \ sucres	Saccharose (g/l)		Fructose (g/l)		Glucose (g/l)		Sucres totaux (g/l)	
	0	150	0	150	0	150	0	150
Durée de stockage (jours)								
-18	23,41	21,81	12,15	12,18	12,20	12,36	47,77	46,53
0	23,41	20,10	12,15	12,16	12,20	13,35	47,77	45,61
25	23,41	11,81	12,15	17,42	12,20	15,43	47,77	44,66
37	23,41	02,06	12,15	22,14	12,20	20,08	47,77	44,28

III.1.5 Les acides aminés

En outre, les acides aminés sont impliqués dans de multiples fonctions comme source d'énergie et précurseurs des protéines et d'autres molécules importantes. Bien que les acides aminés se trouvent en faibles quantités dans les jus, ils peuvent participer à la perte de leur qualité sensorielle lors de la conservation, en réagissant avec les sucres réducteurs, déclenchant ainsi la réaction de Maillard (Buedo *et al.*, 2001). Une étude réalisée par ces auteurs rapporte les pertes en acides aminés identifiés dans un jus de pêche concentré

(12°Brix) lors d'un stockage de 112jours à 15, 30 et 37°C, les résultats de cette étude sont représentés dans le tableau IV.

Tableau IV: Effet de la température et de la durée de stockage sur les teneurs en acides aminés d'un jus de pêche concentré (**Buedo et al., 2001**)

Les acides aminés	Concentrations (mg/l)			
	initiales	Après 112jours de stockage		
		15°C	30°C	37°C
Acide aspartique	616,4	706,4	1254	1447
Acide glutamique	283	252,2	69,33	07,07
Asparagine	2491	2361	1193	275,2
Glutamine	110	49,27	15,10	01,82
Serine	370,2	291,4	131,3	25,94
Thréonine	130,7	86,63	54,18	10,26
Glycine	21,18	17,11	08,62	02,53
Alanine	144,1	133,4	102,1	76,58
Arginine	206,1	160,7	57,42	08,30
Méthionine	202,1	186,9	102,3	27,66
Isoleucine	190,9	187,7	108,4	33,59
Phénylalanine	38,30	28,93	21,69	16,33
Histidine	95,43	85,23	62,65	57,05
Tyrosine	17,82	05,99	04,81	00,79
Total	4917,23	4552,86	3184,9	1990,12

III.1.6 Brunissement non enzymatique (BNE)

Le brunissement des fruits et légumes transformés et/ou stockés résulte de différentes réactions: l'oxydation de l'acide ascorbique (**Burdurlu *et al.*, 2006**), caramélisation, dégradation des pigments (**Zhu *et al.*, 2009**), brunissement enzymatique des phénols, oxydation des lipides et la réaction de Maillard (**Suárez-Jacobo *et al.*, 2012**).

Le brunissement non enzymatique est la réaction la plus complexe en chimie alimentaire, en raison du grand nombre de composants alimentaires capables de participer à cette réaction par différentes voies, donnant lieu à un mélange complexe de produits. Le brunissement non enzymatique peut être déclenché par la condensation d'un groupe carbonyle avec les amines libres des acides aminés et/ou des protéines (réaction de Maillard) ; toutefois, les sucres et l'acide ascorbique subissent également les réactions de brunissement en absence d'acides aminés libres (caramélisation), et la plupart des produits formés sont similaires à ceux résultant de la réaction de Maillard (**Del Castillo *et al.*, 1998**).

Dans les jus de fruits, les acides organiques sont également impliqués dans le brunissement non enzymatique (**Versari *et al.*, 2008**). Le brunissement non enzymatique résultant du traitement ou de stockage prolongé de jus d'agrumes peut altérer la saveur, la couleur, et la qualité du produit. Le phénomène de brunissement dépend également de la nature d'emballage utilisé ; le BNE est plus rapide dans le jus conditionné dans des bouteilles que dans le jus en carton (**Bharate et Bharate, 2012**).

♦ Formation d'hydroxyméthylfurfural

L'HMF est un aldéhyde, qui peut être utilisé comme un indicateur de détérioration de la qualité d'un aliment ; il est le résultat d'une série complexe de réactions entre des acides aminés et des sucres réducteurs (hexoses) (figure 10).

L'HMF n'est pratiquement pas présent dans les aliments frais, mais il est naturellement produit dans ceux contenant les sucres lors du traitement thermique ou au cours de stockage. Il est communément décelé dans le miel, jus de fruits, lait UHT, etc. (**Matić *et al.*, 2009**).

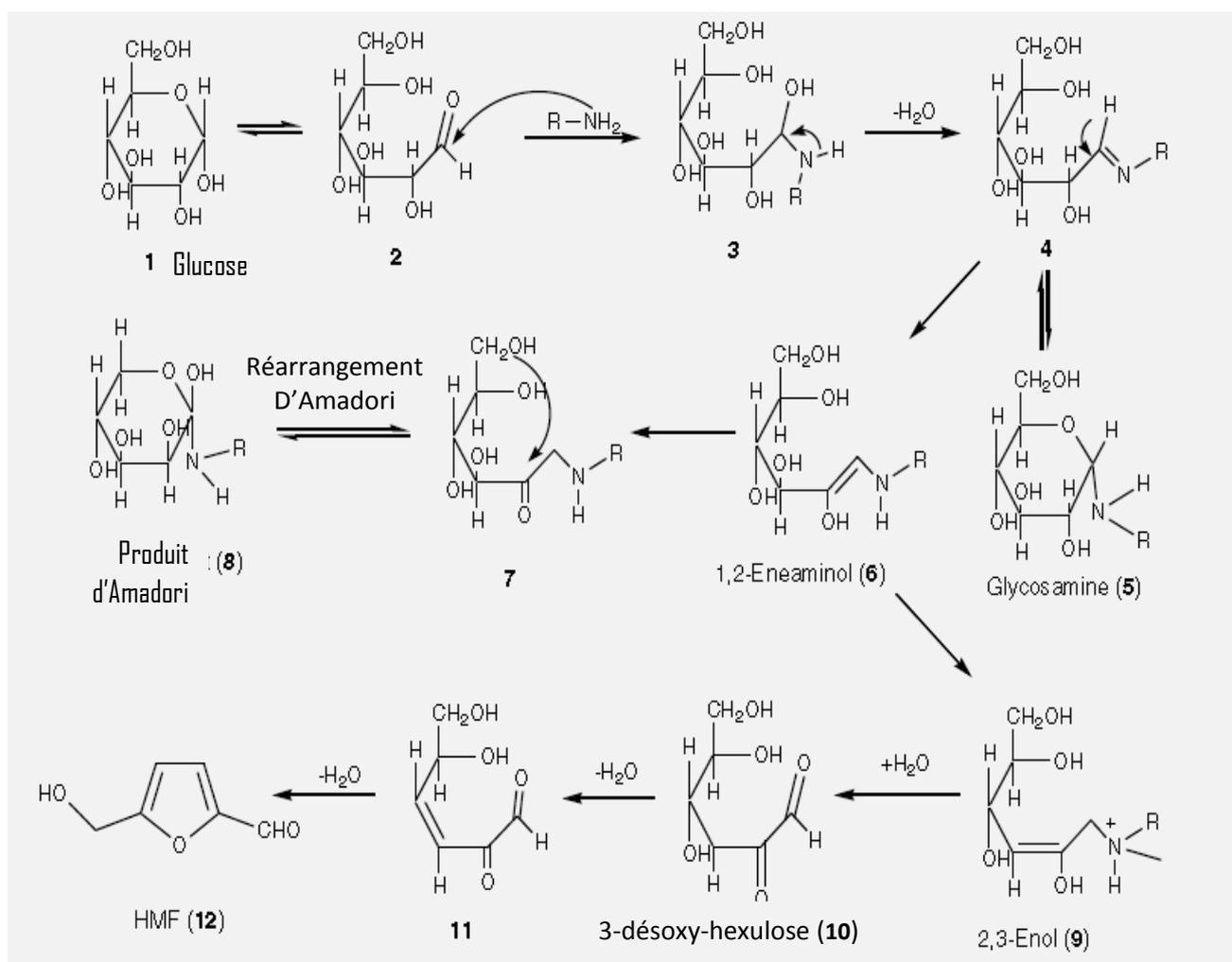


Figure 10: Réaction de Maillard, et formation d’HMF (Bharate et Bharate, 2012).

Afin de savoir si la consommation d’HMF représente un risque potentiel pour la santé, des études *in vitro* sur la génotoxicité/mutagenicité ont été réalisées, mais ces études ont donné des résultats controversés. Des expériences *in vivo* menées par **Ulbricht *et al.* (1984)** montrent que les concentrations élevées d’HMF provoquent des effets cytotoxiques chez le rat ; une irritation des yeux, des voies respiratoires, de la peau et des muqueuses avec une DL50 de 3,1 g/kg de poids corporel de rat.

III.1.7 Les composés phénoliques

Les composés phénoliques ont un potentiel antioxydant très puissant et contribuent à la saveur et la couleur des fruits et légumes. La teneur en composés phénoliques est également utilisée pour évaluer les pertes potentielles de la qualité des jus de fruits par le phénomène de brunissement (**Chia *et al.*, 2012**).

En présence d'oxygène atmosphérique et de la polyphénoloxydase (PPO), une oxydation enzymatique des phénols peut avoir lieu dans les fruits frais (**Li *et al.*, 2008**), mais la pasteurisation de jus lors du procès désactive la peroxydase et la PPO responsables de l'oxydation (**Chia *et al.*, 2012**). La pasteurisation peut provoquer une certaine perte en composés phénoliques, ce qui a été confirmé par **Ma *et al.* (2013)**, qui ont observé une perte en composés phénoliques lors de la pasteurisation de jus de carotte.

La température et la durée de stockage ont une influence sur les teneurs en composés phénoliques de jus, **Klimczak *et al.* (2007)** ont rapporté des pertes en ces composés lors de stockage de jus d'orange à 18, 28 et 38°C. Cependant, **Piljac-Zegarac *et al.* (2009)** ont enregistré des fluctuations des teneurs en polyphénols durant un mois de stockage réfrigéré des jus de cassis, myrtille, grenade et cerise.

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

MATERIEL ET METHODES

I. Echantillonnage

La présente étude est réalisée sur trois boissons aux fruits prélevées le jour même de leur production. Les boissons analysées sont :

- Boisson à base de jus de carotte, orange et citron, nommée « boisson à la carotte ».
- Boisson à base de purée de mangue et de purée de mangue concentrée, nommée « boisson à la mangue ».
- Boisson à base de jus et de purée des fruits tropicaux dont la pomme, orange, fruit de la passion, ananas, goyave, mangue, abricot, banane, citron vert, nommée «boisson aux fruits tropicaux».

Les échantillons (bouteilles de 330ml) ont été répartis en trois lots :

- Lot 1 (09 bouteilles : 3 bouteilles pour chaque type de boisson): analysé au temps T0 ;
- Lot 2 (45 bouteilles : 15 bouteilles pour chaque type de boisson): conservés à 25°C ;
- Lot 3 (45 bouteilles: 15 bouteilles pour chaque type de boisson): conservés à 35°C.

Des prélèvements sont effectués à partir des lots 2 et 3, après 10, 20, 30, 60 et 90 jours.

II. Paramètres physico-chimiques

II.1. Le pH

Le pH des boissons étudiées est déterminé à 25°C à l'aide d'un pH mètre.

II.2. L'acidité titrable

L'acidité titrable correspond à la somme des acides organiques et minéraux présents dans le produit. Elle est exprimée en fonction de l'acide dominant. L'acidité est déterminée par la méthode de **Bhat *et al.* (2011)** ; 30ml de boisson diluée (1/10) sont titrés avec une solution d'hydroxyde de sodium (0,1N) jusqu'au pH de 8,2.

L'acidité exprimée en gramme d'acide citrique/100ml de boisson est calculée selon la formule suivante :

$$C_{\text{acide citrique}} = \frac{v(\text{NaOH}) * C(\text{NaOH})}{V_{\text{acide}}} * 0,069 * 100$$

$v(\text{NaOH})$: Volume de NaOH

$C(\text{NaOH})$: Concentration de NaOH .

0,069 : Facteur spécifique de l'acide citrique

V_{acide} : Volume de jus analysé.

II.3. L'indice réfractométrique (Brix)

Des gouttes de boissons analysées sont mises en contact direct avec la lentille du réfractomètre. La limite de séparation entre la zone claire et la zone foncée indique la grandeur de réfraction de la lumière, qui dépend du taux de la matière sèche soluble contenue dans la boisson. Le résultat obtenu est exprimé en degré Brix.

II.4. La teneur en hydroxymethylfurfural (HMF)

La teneur en HMF est déterminée selon la méthode de **White (1979)** ; 0,1ml de la solution Carrez I (Ferricyanure de potassium 15%) et 0,1ml de la solution Carrez II (Acétate de Zinc 30%) sont ajoutés à 10ml de la boisson diluée (1/10). 1ml de filtrat est mis dans deux tubes, ajouter 1ml d'eau dans l'un et 1ml de bisulfite 0,2% dans l'autre (référence). L'absorbance de l'échantillon contre la référence est mesurée à 284 et 336 nm. La teneur en HMF est déterminée selon l'équation suivante :

$$\text{HMF (mg/100ml)} = (A_{284} - A_{336}) * 74,87$$

Où :

A₂₈₄, A₃₃₆ : valeurs des absorbances, respectivement à 284 et 336 nm.

74,87 : Facteur spécifique.

II.5. La teneur en sucres totaux

Les sucres totaux sont déterminés par la méthode décrite par **Dubois et al. (1956)**. 0,5 ml de phénol (5%) et 2,5ml de l'acide sulfurique (95%) sont ajoutés à 0,5ml de la boisson diluée. Après agitation, le mélange réactionnel est laissé reposer 10 min à température ambiante. Il est ensuite incubé à 105°C pendant 5min. L'absorbance est mesurée à 490 nm.

La teneur des boissons en sucres totaux est calculée par référence à une courbe d'étalonnage préalablement établie avec une solution de saccharose (figure 1, annexe).

II.6. La teneur en protéines

La teneur en protéine est déterminée selon la méthode de **Bradford (1976)**. 2,5ml du réactif de Bradford sont ajoutés à 0,1ml de la boisson analysée, agité sur vortex, puis incubé 5min à température ambiante. L'absorbance est mesurée à 595nm.

Les résultats sont exprimés en mg de sérum albumine bovine par 100ml de boisson en se référant à une courbe d'étalonnage (figure 2, annexe).

II.7. La teneur en acides aminés libres

L'estimation de la teneur en acides aminés libres est réalisée par la méthode de la ninhydrine décrite par **Yemm et Cocking (1955)**. 1ml d'un extrait éthanolique (un volume de jus est mélangé avec le même volume d'éthanol 80% centrifugé pendant 20 min à 5000 rpm) est additionné de 0,5ml de tampon citrate (0.2M, pH=5), 1ml de cyanure de potassium KCN (0,01M) et de 200µl de la ninhydrine (1%). Le mélange est agité puis incubé à 100°C pendant 15min. 2,3ml d'éthanol (70%) sont ajoutés après refroidissement. L'absorbance est mesurée à 570nm ; les résultats sont exprimés en mg de glycine/100ml de boisson, en se référant à une courbe d'étalonnage (figure 3, annexe).

III. Dosage des antioxydants

III.1. Dosage de l'acide ascorbique

Le dichlorophénol-indophénol (DCPIP) permet d'oxyder la vitamine C en milieu acide. La solution de DCPIP de couleur bleue, devient rose après réduction de cette molécule.

L'estimation de la teneur en acide ascorbique est réalisée selon la méthode rapportée par **Mau et al. (2005)**. L'acide ascorbique est extrait à partir de 5ml de boisson par 5ml d'acide oxalique (1%). Après agitation, 100µl du surnageant sont mélangés avec 900µl de DCPIP (15ppm) ; l'absorbance est mesurée à 515nm. Les résultats sont exprimés en mg d'acide ascorbique/100ml de boisson, en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide ascorbique (figure 4, annexe).

III.2. Dosage des caroténoïdes

Le dosage des caroténoïdes est réalisé suivant la méthode de **Choi *et al.* (2002)**. 5 ml d'un mélange d'hexane, acétone, éthanol (2 :1 :1) sont ajoutés à 1 ml de la boisson ; le mélange est agité et centrifugé pendant 10min à 5000rpm. La phase supérieure contenant les caroténoïdes est récupérée, et son absorbance est mesurée à 450nm. La teneur en caroténoïdes est exprimée en mg de β -carotène/100ml de boisson, en se référant à une courbe d'étalonnage (figure 5, annexe).

III.3. Les composés phénoliques

III.3.1. Préparation des extraits

L'éthanol 70% est utilisé comme solvant d'extraction des composés phénoliques, et des flavonoïdes et pour mesurer les activités antioxydantes. Des volumes égaux d'échantillon et d'éthanol 70% sont mélangés, agités et centrifugés à 5000 rpm pendant 20 minutes. Les extraits sont récupérés après filtration.

III.3.2. Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols est basé sur la réduction du mélange d'acide phosphotungstique et de l'acide phosphomolybdique du réactif de Folin-Ciocalteu, lors de l'oxydation des phénols en un mélange d'oxydes bleu de tungstène et de molybdène dans une solution alcaline (**Ribéreau-Gayon, 1968**).

La teneur des boissons analysées en composés phénoliques est déterminée en utilisant la méthode rapportée par **Shwartz *et al.* (2009)**. 200 μ l de l'extrait sont mélangés avec 700 μ l du réactif de Folin-Ciocalteu. Après 3 minutes, 400 μ l de carbonate de sodium (7,5%) sont ajoutés, puis le mélange est incubé pendant 90minutes à la température ambiante. Les absorbances sont mesurées à 720nm. La teneur en polyphénols totaux est exprimée en mg équivalent d'acide gallique/100ml de boisson (mg EAG/100ml), en se référant à une courbe d'étalonnage (figure 6, annexe).

III.3.3 Dosage des flavonoïdes totaux

La méthode repose sur le principe du dosage direct par le trichlorure d'aluminium. En effet, les flavonoïdes possèdent un groupement OH libre susceptible de donner, en présence de chlorure d'aluminium, un complexe jaunâtre par chélation de l'ion Al^{+3} ; la

coloration jaune produite est proportionnelle à la quantité de flavonoïdes présente dans l'extrait.

La concentration de flavonoïdes est déterminée selon la méthode rapportée par **Djeridane et al. (2006)**. Un volume d'extrait est additionné d'un même volume de chlorure d'aluminium (2%). Après incubation à température ambiante durant 10min, l'absorbance est mesurée à 410nm. La teneur en flavonoïdes est exprimée en mg équivalent de quercétine/100ml de boisson (mg EQ/100ml), par référence à une courbe d'étalonnage (figure 7, annexe).

IV. Mesure de l'activité antioxydante

IV.1. Activité antiradicalaire

La méthode au diphenylpicryl hydrazyl (DPPH) est utilisée pour déterminer la capacité des extraits à céder des protons et/ou des électrons. Cette activité est mesurée selon la méthode rapportée par **Tezcan et al. (2009)**. 100µl d'extrait sont additionnés de 1000µl de DPPH. Après incubation du mélange à l'obscurité et à température ambiante pendant 30min, l'absorbance est mesurée à 517 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique/100ml de boisson en se référant à une courbe d'étalonnage (figure 8, annexe).

IV.2. Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur est l'aptitude des antioxydants présents dans les extraits à réduire le fer ferrique (Fe^{+3}) du complexe ferricyanure en fer ferreux. La forme réduite donne une couleur verte qui est proportionnelle au pouvoir réducteur de l'extrait.

Le pouvoir réducteur est estimé selon la méthode rapportée par **Viuda-Martos et al. (2011)**. 100µl d'extrait sont mélangés avec 250µl de tampon phosphate (0,2 M, pH = 6,6) et 250µl de ferricyanure de potassium (1%), puis le mélange est incubé à 50°C pendant 20 minutes. Après refroidissement 250µl de TCA (10%), 850µl de l'eau distillée suivie de 170 µl de $FeCl_3$ (0.1%) sont ajoutés. L'absorbance des solutions obtenues est mesurée à 700 nm. Le pouvoir réducteur des échantillons est exprimé en mg équivalent d'acide gallique par 100ml de la boisson, en se référant à une courbe d'étalonnage de l'acide gallique (figure 9, annexe).

V. Analyse statistique

Toutes les données présentées sont la moyenne d'au moins trois essais. Les paramètres de la statistique descriptive (moyennes et écarts types) ont été calculés à l'aide du programme Excel de Microsoft Office 2007. L'analyse de l'évolution des paramètres analysés au cours la conservation est faite en utilisant le test ANOVA-LSD du logiciel STATISTICA 5.5 ; le degré de signification de données est pris à la probabilité $p < 0,05$.

L'effet de la température de conservation sur les boissons a été analysé par le test (t) du même logiciel à $p < 0,05$. L'étude des corrélations est réalisée à l'aide de la statistique élémentaire, en utilisant la matrice de corrélation du logiciel STATISTICA 5.5 à trois différents niveaux de signification (0,05 ; 0,01 et 0,001).

Résultats et discussion

RESULTATS ET DISCUSSION

I. Paramètres physico-chimiques

I.1. Le pH

La mesure de pH est très importante dans le cas des jus, car la multiplication microbienne et certaines réactions enzymatiques en dépendent.

Les résultats de la mesure du pH des trois boissons analysées et leur évolution au cours de la conservation sont présentées dans la figure 11. Les boissons à la carotte, à la mangue et aux fruits tropicaux étudiées ont montré des pH de 3,12 ; 3,54 et 3,20, respectivement. Ces résultats sont différents de ceux obtenus par **Aider et de Halleux (2008)** pour un jus d'abricot concentré (3,45) et par **Cortés et al. (2008)** pour un jus d'orange (3,35). **Santhirasegaram et al. (2013)** ont noté un pH de 4,62 pour un jus de mangue; cette valeur est supérieure à celle de la boisson à la mangue analysée.

Une diminution significative du pH est observée durant le premier mois de conservation à 25 et 35°C pour les trois types de boissons analysées, puis le pH augmente à la fin de stockage. Le pH de la boisson à la carotte diminue de 3,12 à 3,03 et 3,01 lors de la conservation à 25 et 35°C, respectivement. Pour la boisson à la mangue, le pH baisse de 3,54 à 3,43 (25°C) et 3,41 (35°C), alors que pour la boisson aux fruits tropicaux, le pH a diminué de 3,20 à 3,07 (25°C) et 3,05(35°C).

Wang et al. (2006) ont rapporté une baisse du pH d'un jus de carotte concentré conservé à 25°C et 37°C durant 150jours. Des résultats semblables sont obtenus pour un jus de fruits tropicaux pasteurisé après stockage de huit semaines à 28°C (**Abbo et al., 2006**), un jus d'orange sanguine conservé à 22°C durant 85jours (**Hamedani et al., 2012**) et pour un jus de carotte-orange-ananas après 21jours de conservation réfrigérée (**Jan et Masih, 2012**). Selon **Xu et al. (2014)**, cette diminution serait due à la fermentation des glucides contenus dans le jus.

L'analyse statistique par le test (t) appliqué aux boissons étudiées n'a pas révélé de différence significative entre les résultats du pH à 25°C et 35°C, à l'exception de la boisson à la carotte aux 10^{ème} et 60^{ème} jours, et au 20^{ème} jour pour la boisson aux fruits tropicaux.

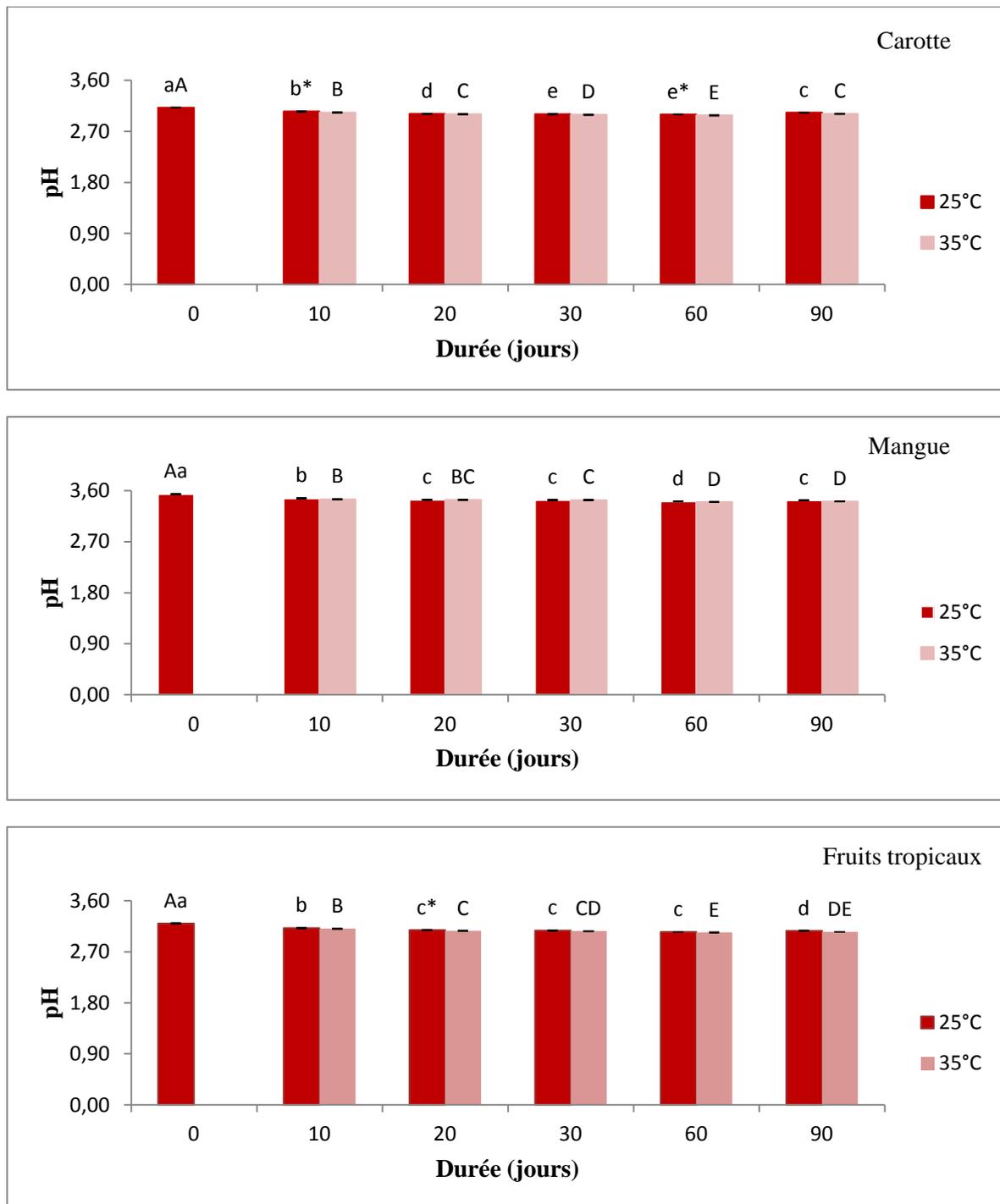


Figure 11. Evolution du pH des boissons analysées au cours de la conservation.

Les barres verticales représentent les écartypes ;

L'astérisque(*) indique une différence significative entre les résultats obtenus à 25° et 35°C à $p < 0,05$ par le test (t).

Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($P < 0,05$) :

Les lettres minuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 25°C.

Les lettres majuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 35°C.

Les caractéristiques physico-chimiques des boissons peuvent varier significativement selon nombreux facteurs, tels que la variété et le stade de maturité des fruits et les méthodes analytiques.

I.2. L'acidité titrable

L'acidité titrable correspond à la somme des acides organiques présents dans le produit. Dans les boissons étudiées, l'acide citrique est utilisé comme acide de référence.

Les résultats de l'acidité des boissons analysées et de son évolution au cours de la conservation sont illustrés dans la figure 12. Les boissons à la carotte, à la mangue et aux fruits tropicaux montrent des acidités de 0,46 ; 0,23 et 0,34g/100ml, respectivement ; les résultats de l'acidité des boissons aux fruits tropicaux et à la mangue sont comparables à ceux rapportés par **Pasha et al. (1994)** pour les boissons à base d'orange (0,31g/100ml) et pour des boissons à la mangue et à la pomme (0,20g/100ml), respectivement. **Moufida et Marzouk (2003)** ont rapporté des acidités de 4,02 et 0,10g/100ml de jus de citron et jus d'orange douce, respectivement. Une acidité de 0,20g/100ml est enregistrée par **Santhirasegaram et al. (2013)** pour le jus de mangue.

Une augmentation significative ($p < 0,05$) de l'acidité est observée pour les boissons conservées à 25°C ainsi qu'à 35°C ; l'acidité est maximale après un mois de stockage puis régresse et se stabilise. **Abbo et al. (2006)** ont enregistré une augmentation de l'acidité titrable d'un jus de fruits tropicaux pasteurisé conservé à 28°C durant huit semaines (0,02 g/l à 0,2 g/l) ; la même observation est constatée par **Jan et Masih (2012)** pour un jus de carotte-orange-ananas après 21 jours de stockage réfrigéré. Cette augmentation peut être expliquée par la production d'acides organiques par les microorganismes au cours de la conservation. La régression de l'acidité observée après 30 jours de stockage est peut être due aux interactions chimiques entre les constituants de ces boissons (**Babsky et al., 1986 ; Sharma et al., 2004**), ou à la dégradation de l'acide ascorbique (**Vieira et al., 2010**).

A l'exception de la boisson à la carotte (10^{ème} jour) et de la boisson aux fruits tropicaux (10^{ème} et 60^{ème} jours), le test (t) indique que la température de conservation (25°C et 35°C) n'a pas d'effet significatif sur l'acidité des boissons analysées.

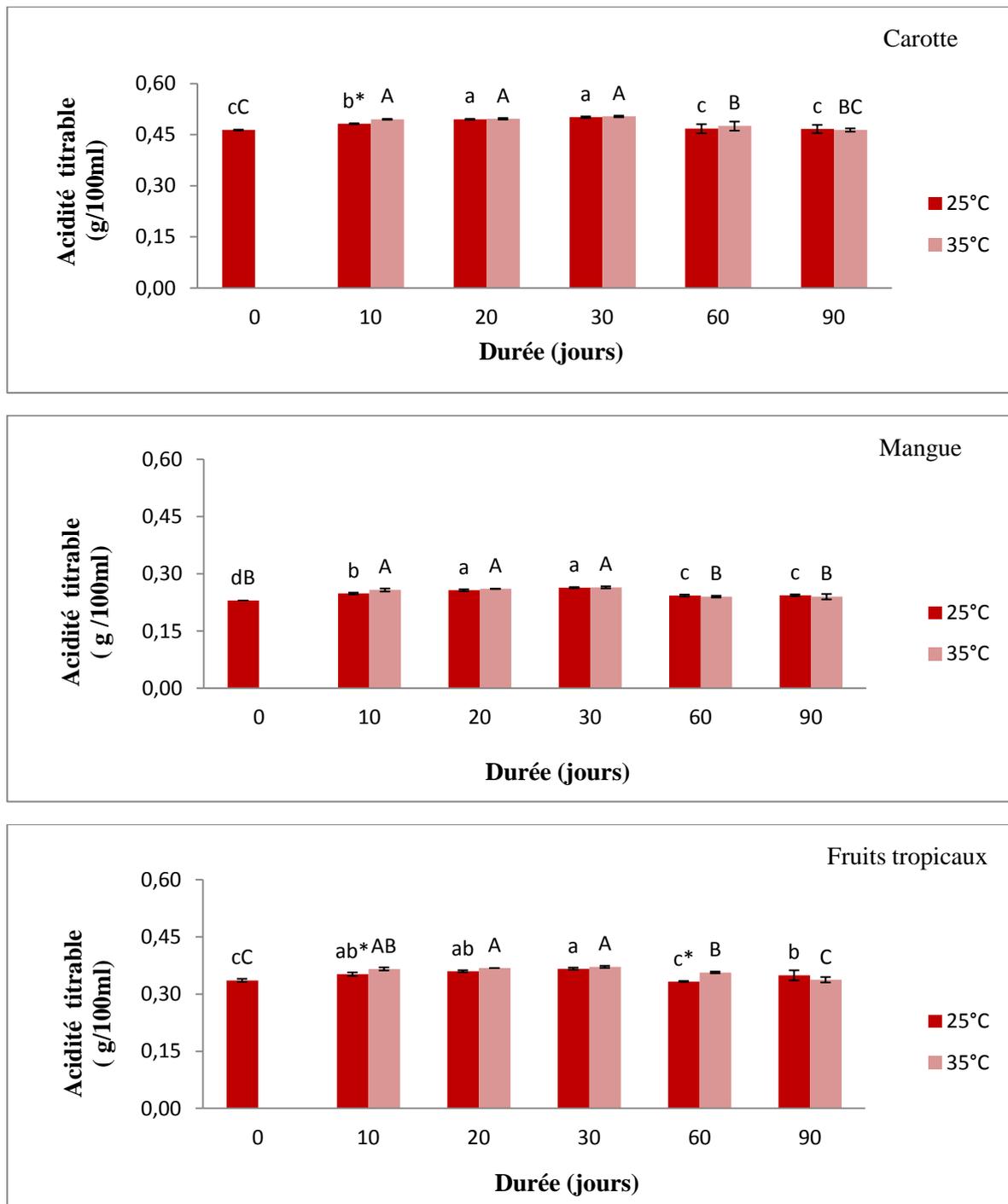


Figure 12. Evolution de l'acidité titrable des boissons analysées au cours de la conservation.

Les barres verticales représentent les écartypes ;

L'astérisque(*) indique une différence significative entre les résultats obtenus à 25° et 35°C à $p < 0,05$ par le test (t).

Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($P < 0,05$) :

Les lettres minuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 25°C.

Les lettres majuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 35°C.

I. 3. L'indice réfractométrique

L'indice réfractométrique (IR) ou degré Brix ou pourcentage de matière sèche soluble sert à mesurer la concentration des glucides dans un produit. L'indice réfractométrique des boissons à la carotte, mangue, et fruits tropicaux est respectivement égal à 12,5 ; 12,99 et 12°Brix. Des indices de 11,8° Brix, 14,73° Brix et 14,7°Brix ont été enregistrés respectivement pour un jus d'orange (**Cortés et al., 2008**), un jus d'abricot concentré (**Aider et de Halleux, 2008**) et un jus de mangue pasteurisé (**Santhirasegaram et al., 2013**). Ces valeurs sont différentes de celles obtenues dans la présente étude.

L'analyse statistique ($p < 0,05$) montre une diminution significative du Brix des boissons à la carotte et à la mangue après 20 et 10 jours de conservation à 25°C, respectivement. Pour la boisson aux fruits tropicaux, une légère régression de la matière sèche est observée après 60 jours de stockage.

Pour les boissons conservées à 35°C, l'analyse statistique montre une stabilité des boissons à la carotte, et aux fruits tropicaux durant les deux premiers mois de stockage, et une fluctuation de l'indice réfractométrique de la boisson à la mangue (figure 13).

Abbo et al. (2006) ont enregistré une baisse de l'indice réfractométrique d'un jus de fruits tropicaux après une conservation de 60 jours à 28°C (14 à 3°Brix). Selon ces auteurs, cette baisse est due à la réduction de la teneur en sucres par la fermentation, tandis que **Jan et Masih (2012)** ont obtenu pour un jus d'ananas mélangé avec des jus de carotte et d'orange une augmentation du Brix au cours de stockage; ils suggèrent que cette modification est due à l'hydrolyse des polysaccharides.

Une étude réalisée par **Tasnim et al. (2010)** a montré que la teneur en solides solubles totaux (TSS) est fortement liée à la teneur en sucres totaux et en acides organiques des fruits, et faiblement liée à la teneur en pectines et en sels minéraux.

Après 60 jours de stockage, l'indice réfractométrique des boissons conservées à 35°C est légèrement plus élevé que celui des boissons conservées à 25°C, mais sans différence significative à $p < 0,05$, selon le test (t).

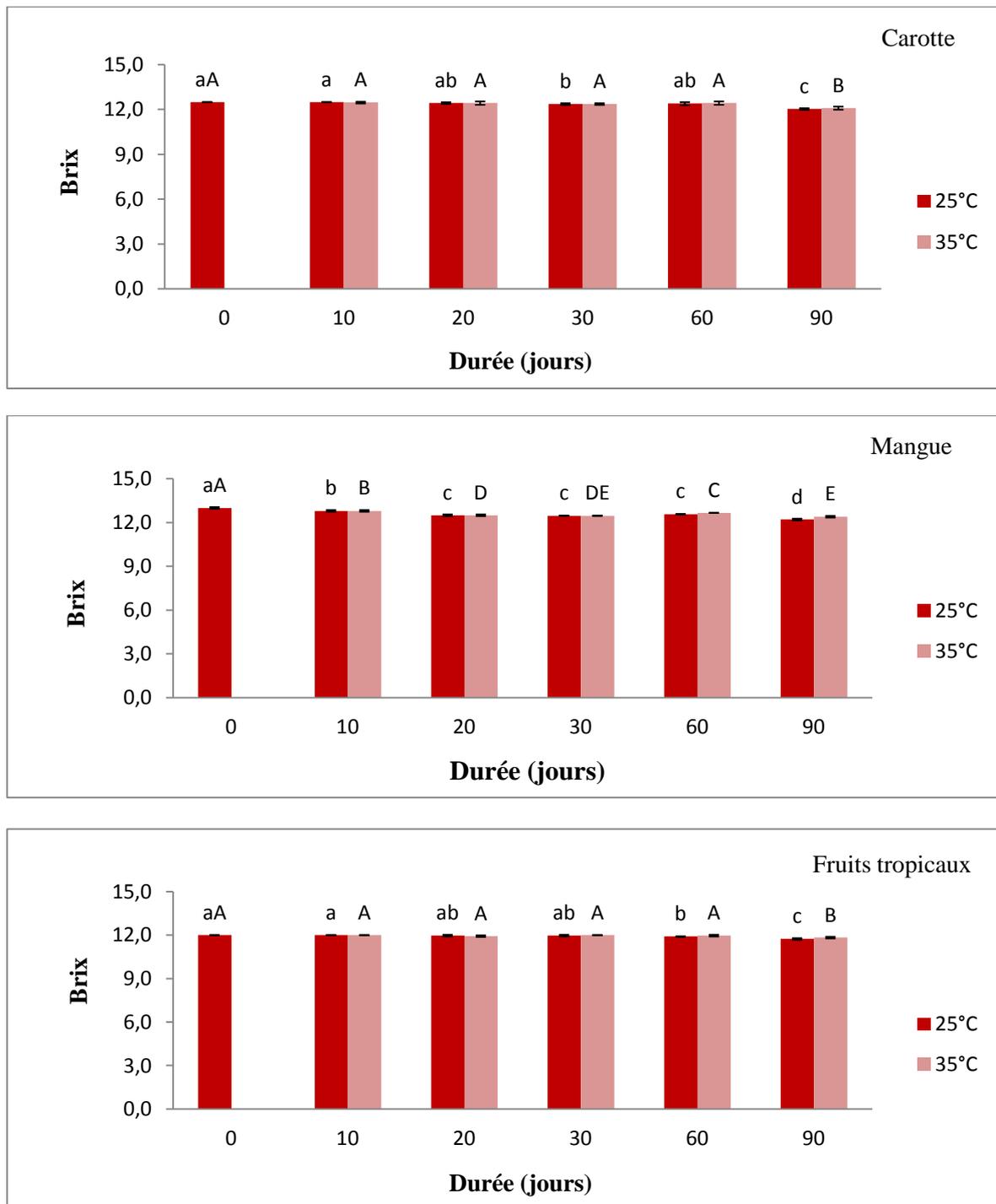


Figure 13. Evolution de l'indice réfractométrique des boissons analysées au cours de la conservation.

Les barres verticales représentent les écartypes ;

L'astérisque(*) indique une différence significative entre les résultats obtenus à 25° et 35°C à $p < 0,05$ par le test (t).

Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($P < 0,05$) :

Les lettres minuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 25°C.

Les lettres majuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 35°C.

I.4. L'hydroxyméthylfurfural

Le taux d'hydroxyméthylfurfural (HMF) dans les aliments indique la sévérité du traitement thermique et des conditions de stockage. L'HMF est aussi un produit de déshydratation du fructose et du glucose en milieu acide (**Burdurlu et Karadeniz, 2003**) et de décomposition de l'acide ascorbique (**Burdurlu et al., 2006**).

Dans la présente étude, les boissons analysées ne renferment pas d'hydroxyméthylfurfural, mais il se forme au cours de stockage avec l'augmentation de la température. Après 90 jours de conservation, une augmentation significative ($p < 0,05$) de la teneur en HMF est observée au cours du temps ; les valeurs de l'HMF enregistrées à la fin du stockage sont de 1,32 ; 1,46 et 1,15 mg/100 ml à 25°C, et 1,80 ; 1,82 et 1,85 mg/100 ml à 35°C pour les boissons à la carotte, mangue et la boisson aux fruits tropicaux, respectivement (figure 14). Ces résultats concordent avec ceux rapportés par la littérature.

Burdurlu et Karadeniz (2003) ont enregistré une évolution de la teneur en HMF d'un jus de pomme de différents brix (65° ; 70° et 75° Brix) conservé à différentes températures (5°C ; 20°C et 37°C) durant quatre mois ; les concentrations de l'HMF augmentent avec la durée et la température de stockage, et le taux de matière sèche du jus. Les mêmes résultats sont obtenus par **Wang et al. (2006)** pour un jus de carotte après 150 jours de conservation à 25 et 35°C.

Burdurlu et al. (2006) ont enregistré une accumulation d'HMF dans des jus de citron et d'orange conservés à 28 ; 37 et 45°C durant deux mois ; les teneurs enregistrées sont respectivement 3,01 ; 640,86 et 2727 mg/Kg pour le jus de citron, et 28,32 ; 534,36 et 1401,10 mg/kg pour le jus d'orange.

Dans la présente étude, les boissons conservées à 35°C présentent des concentrations en HMF supérieures à celles des boissons conservées à 25°C, la formation de l'HMF est peut être issue de la dégradation de l'acide ascorbique au cours de la conservation, ou à la participation des sucres à la réaction de Maillard.

L'analyse statistique par le test (t) montre que la température de conservation a un effet significatif sur la formation d'HMF à l'exception du 30^{ème} jour pour la boisson à la carotte, et au 20^{ème} jour pour la boisson aux fruits tropicaux. A l'inverse, cette température n'a pas d'effet significatif sur la formation d'HMF dans la boisson à la mangue à l'exception des 10 et 90^{ème} jours de conservation.

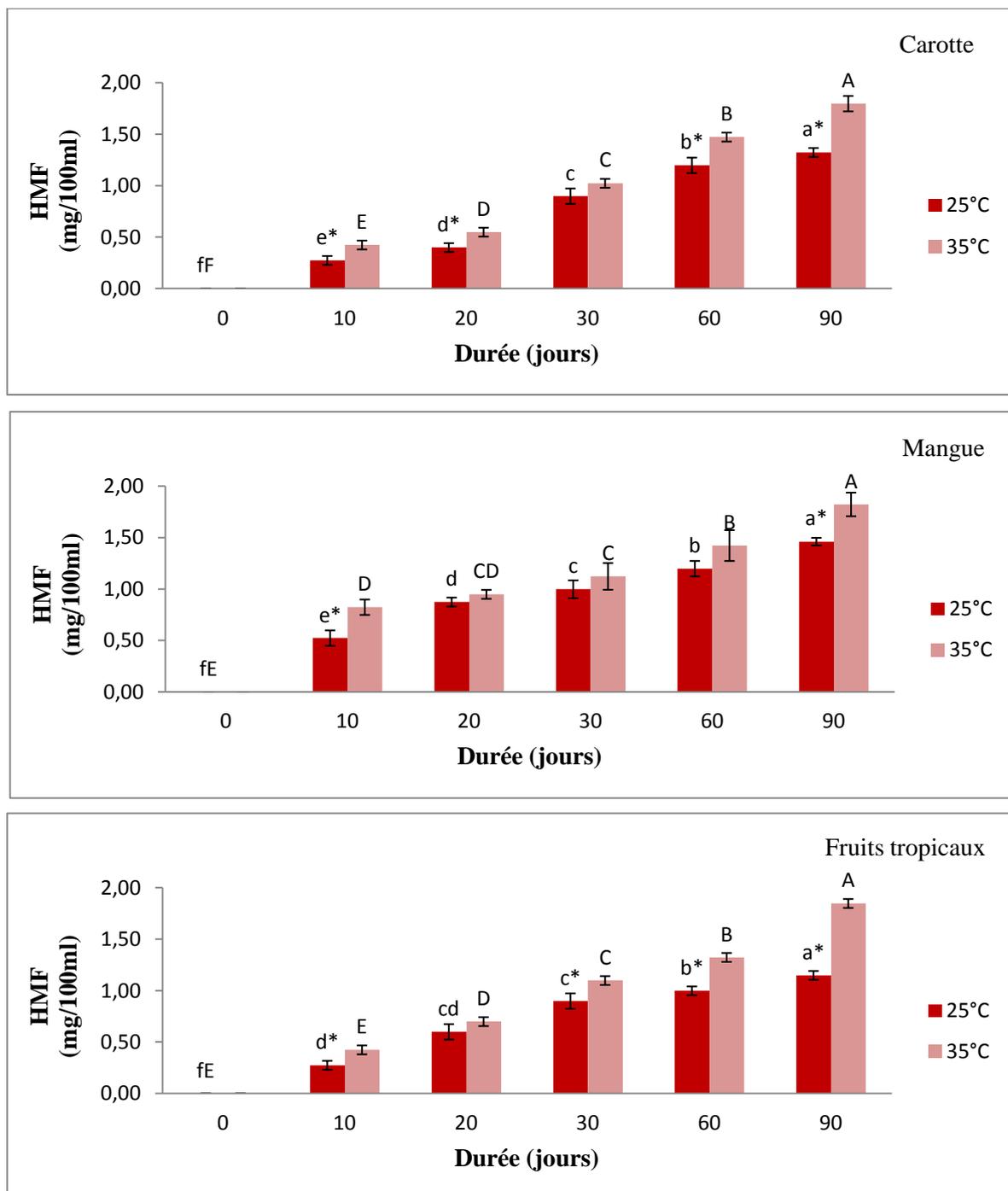


Figure 14. Formation de l'HMF au cours de la conservation des boissons analysées.

Les barres verticales représentent les écarts types ;

L'astérisque(*) indique une différence significative entre les résultats obtenus à 25° et 35°C à $p < 0,05$ par le test (t).

Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($P < 0,05$) :

Les lettres minuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 25°C.

Les lettres majuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 35°C.

I.5. Les glucides

Les glucides occupent une place centrale dans notre alimentation, et fournissent la majorité de l'énergie alimentaire. Les boissons aux fruits représentent une source importante d'énergie sous forme de sucres dont le glucose, le fructose et le saccharose sont les plus abondants (**Sanz et al., 2004**).

Dans la présente étude les sucres totaux sont dosés par la méthode de Dubois (1956). Les résultats sont exprimés en g de saccharose/100ml de boisson. Les boissons à la carotte, mangue, et aux fruits tropicaux présentent des teneurs en sucres totaux de 11,86 ; 12,98 et 11,99g/100ml respectivement (figure 15). Ces résultats sont comparables à ceux rapportés dans la littérature. L'étude réalisée par **Al-Jedah et Robinson (2002)** rapporte des teneurs en sucres totaux de 11,8g/100ml pour le jus de pomme, 14,1g/100ml pour le jus de mangue et 10,1g/100ml pour le jus ananas. Selon **Moufida et Marzouk (2003)** le jus d'orange contient 12,37g de sucres/100ml. **Aider et de Halleux (2008)** ont enregistré une teneur en glucides de 12,3g/100ml de jus d'abricot. L'étude menée par **Tasnim et al. (2010)** montre des teneurs en sucres totaux qui varient entre 10,84 et 17,62g/100ml pour des boissons à la mangue, et de 10,41 à 10,98g/100ml pour des boissons à l'orange. **Suárez Jacobo et al. (2011)** ont rapporté un contenu en sucres totaux de 11,92g/100ml pour un jus de pomme pasteurisé. Une concentration de 6,4g de sucres totaux/100ml de jus de carotte a été rapportée par **Profir et vizireanu (2013)** ; cette teneur est inférieure à celle enregistrée pour la boisson à la carotte analysée dans la présente étude.

L'analyse statistique montre une diminution significative ($p < 0,05$) de la teneur en sucres totaux de la boisson à la carotte, tout au long de la période de stockage à 25°C, tandis qu'à 35°C, cette teneur se stabilise du 10^{ème} au 30^{ème} jour de conservation, puis diminue à la fin de stockage. Des concentrations de 8,36g/100ml à 25°C, et de 6,82g/100ml à 35°C sont enregistrées à la fin de conservation, ce qui correspond à des taux de perte de 29,57% et 42,54%, respectivement.

Une baisse significative du taux de sucres totaux est aussi observée pour les boissons aux fruits tropicaux et à la mangue durant toute la période de conservation à 25°C et à 35°C, avec des pertes de 32,43% ; 31,41% à 25°C, et 38,08% et 47,68% à 35°C respectivement, à la fin de stockage.

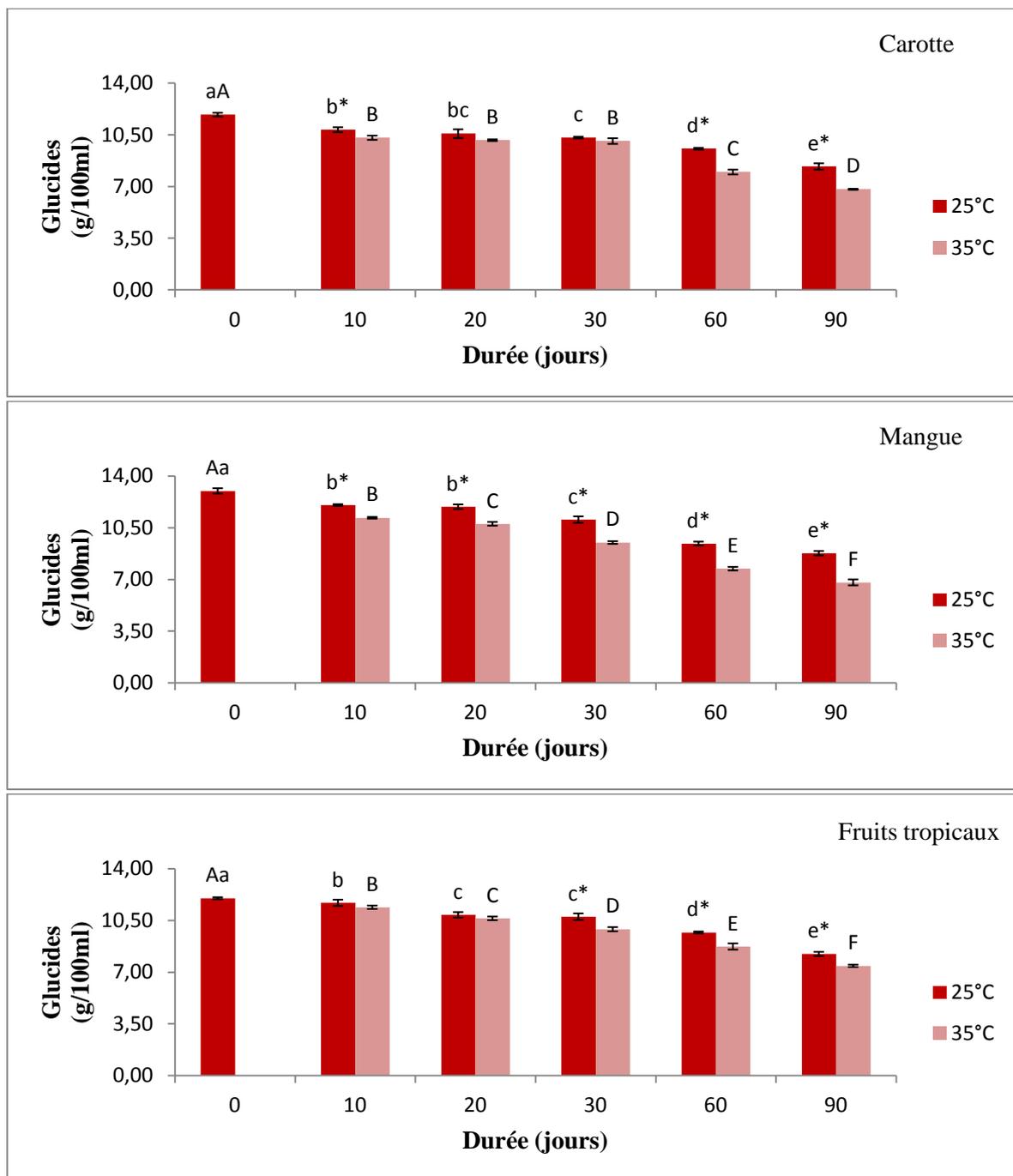


Figure 15. Evolution des teneurs en glucides des boissons analysées au cours de la conservation.

Les barres verticales représentent les écartypes ;

L'astérisque(*) représente la différence significative des résultats obtenus à 25° et 35°C à chaque analyse ($p < 0,05$) par le test (t).

Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($P < 0,05$) :

Les lettres minuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 25°C.

Les lettres majuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 35°C.

Dans la présente étude, la diminution des teneurs en sucres totaux des boissons analysées serait due à l'activité des microorganismes présents dans les boissons, ou à la participation des sucres aux réactions de brunissement, et de formation de l'HMF qui est accélérée aux températures élevées.

Les résultats obtenus dans cette étude confirment ceux rapportés par **Wang et al. (2006)**, qui ont enregistré une diminution de la teneur en sucres totaux d'un jus de carotte concentré (20°Brix) après 150 jours de conservation à 25 et 37°C. La même observation est constatée par **Del Castillo et al. (1998)** pour un jus d'orange déshydraté après 14 jours de stockage à 30°C. Dans une étude réalisée par **Babsky et al. (1986)** sur un jus de pomme concentré, une régression du taux de saccharose et une augmentation de la teneur en sucres réducteurs sont observées, après 111 jours de conservation à 37°C. Cependant **Suárez-Jacobo et al. (2012)** ont enregistré une stabilité des monosaccharides et une diminution significative ($p < 0,05$) de la teneur en saccharose d'un jus de pomme conservé à 20 et 30°C durant 60 jours. L'acidité de jus et la température de stockage favorisent l'hydrolyse du saccharose en monosaccharides, qui réagissent pour former l'HMF.

L'analyse statistique par le test (t) montre que la température de conservation a un effet significatif sur la teneur en sucres totaux des boissons à la carotte (à l'exception des 20^{ème} et 30^{ème} jours) et à la mangue, tout au long de la période de stockage. Pour la boisson aux fruits tropicaux, l'effet de la température n'apparaît qu'après 30 jours de conservation.

I.6. Les protéines

L'objectif de cette analyse est de déterminer les teneurs en protéines des boissons analysées et de suivre leur évolution au cours de la conservation. Des teneurs de 27,29 ; 24,91 et 19,33 mg/100 ml sont enregistrées pour les boissons à la carotte, mangue, et aux fruits tropicaux, respectivement (figure 16). Ces teneurs sont inférieures à celles obtenues par **Al-Jedah et Robinson (2002)** pour les boissons de carotte (0,24 g/100 ml), mangue (0,28 g/100 ml), orange (0,44 g/100 ml), banane (0,48 g/100 ml), ananas (0,16 g/100 ml) et de citron (0,4 g/100 ml). **Abbo et al. (2006)** ont enregistré une concentration 0,64 g/100 ml de jus de fruits tropicaux. **Tasnim et al. (2010)** ont constaté des teneurs en protéines qui varient de 1 à 660 mg/100 ml et de 1 mg à 80 mg/100 ml de boissons commerciales de mangue et d'orange respectivement.

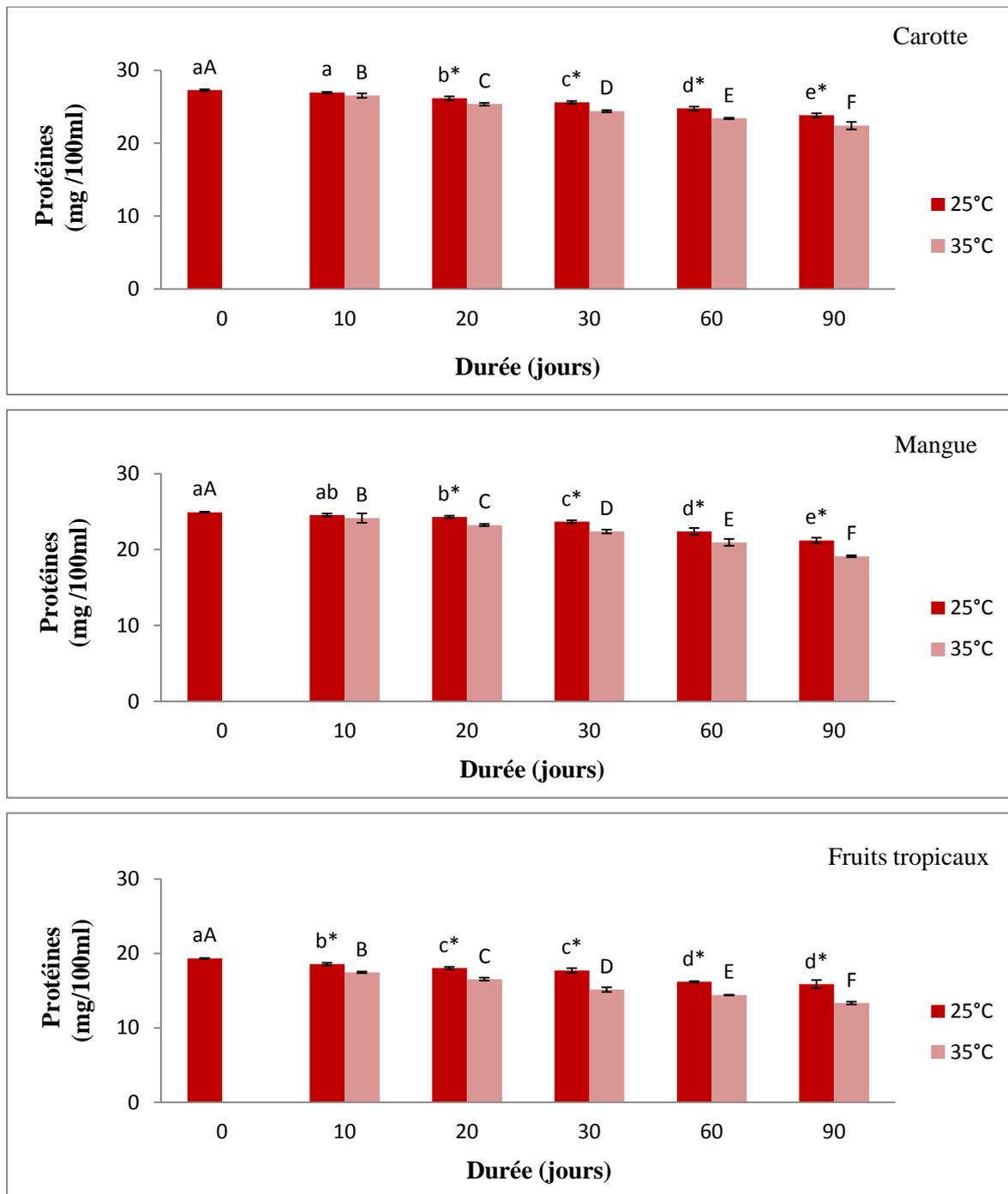


Figure 16. Evolution des teneurs en protéines des boissons analysées au cours de la conservation.

Les barres verticales représentent les écartypes ;

L'astérisque(*) indique une différence significative entre les résultats obtenus à 25° et 35°C à $p < 0,05$ par le test (t).

Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($P < 0,05$) :

Les lettres minuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 25°C.

Les lettres majuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 35°C.

Profir et Vizireanu (2013) ont enregistré une teneur de 1g/100ml de jus pur de carotte.

Une diminution significative ($p < 0,05$) des teneurs en protéines des boissons à la carotte et à la mangue est observée, tout au long de la période de stockage à 25 et 35°C. Les teneurs enregistrées après 90 jours de conservation pour les boissons à la carotte et à la mangue sont respectivement 23,82 et 21,20mg/100ml à 25°C, et 22,41 et 19,11 mg/100ml à 35°C, ce qui correspond à des taux de perte de 12,71% et 14,89% à 25°C, et de 17,88% et 23,28% à 35°C, respectivement. Concernant la boisson aux fruits tropicaux, une stabilité de la concentration de protéines est observée du 20 au 30^{ème} jour, puis du 60 au 90^{ème} jour de conservation à 25°C ; tandis que pour la boisson conservée à 35°C, une diminution significative est observée tout au long de la période de stockage. Après 90 jours de conservation, des teneurs de 15,87mg/100ml à 25°C et 13,33 mg/100ml à 35°C sont enregistrées, et qui correspond à des taux de perte de 17,89 % et 31,03 % respectivement.

Les études qui traitent l'évolution de protéines des jus au cours de la conservation sont rares. L'étude réalisée par **Hamedani et al. (2012)** a montré une diminution de la teneur en protéines durant la conservation d'un jus d'orange sanguine. Après 85 jours de conservation à 22°, une perte de 23,57% a été enregistrée.

La diminution des teneurs en protéines des boissons peut être due à leur contribution à la réaction de Maillard, ou à leur utilisation par les micro-organismes présents dans le jus comme source d'azote.

A l'exception des boissons à la carotte et à la mangue (10^{ème} jour), l'analyse statistique par le test (t) montre que la température de conservation a un effet significatif sur la teneur en protéines des boissons analysées, durant les périodes d'analyses.

I.7. Les acides aminés libres

Les acides aminés contribuent directement à la perception du goût et l'amélioration de la saveur. Ils ont non seulement une valeur nutritive élevée, mais aussi procurent plusieurs avantages pour la santé tels que le potentiel de réduction de cholestérol sanguin, des maladies coronariennes, la glycémie. Certains acides aminés (Tyr, Met, His, Lys et Trp) peuvent agir comme des antioxydants (**Dajanta et al., 2011 ; Morales-de la Peña et al., 2012**).

Dans la présente étude, l'analyse des acides aminés libres est effectuée pour deux objectifs ; le premier est d'estimer les teneurs des boissons analysées en ces composés, et le deuxième est de suivre leur évolution aux cours du stockage. La variation de la teneur en acides aminés peut être un indicateur approprié pour caractériser les conditions de stockage d'un jus (**Del Castillo et al., 1998**).

Les teneurs en acides aminés libres des boissons analysées ainsi que leur évolution au cours de la conservation sont représentées dans la figure 17. La boisson à la carotte est la plus riche (22,72mg/100ml), suivie par la boisson aux fruits tropicaux (15,24mg/100ml), et la boisson à la mangue (2,78mg/100ml). Ces résultats sont inférieurs à ceux obtenus par **Wang et al. (2007)** pour le jus de carotte concentré à 20°brix (144,8mg/100ml) et par **Li-ying et al. (2008)** pour le jus d'orange (1,8 à 3,18g/100ml). **Sharma et al. (2004)** ont enregistré une concentration de 143,02mg/100ml de jus de citron concentré, et 4,59mg après le traitement de clarification.

Après 90 jours de conservation à 25 et 35°C, une régression significative ($p < 0,05$) de la teneur en acides aminés libres est observée tout au long de la période de stockage. Les teneurs enregistrées à la fin de stockage des boissons à la carotte, mangue et boissons aux fruits tropicaux sont respectivement 17,31 ; 2,30 et 12,02mg/100ml à 25°C, et 15,85 ; 2,17 et 10,83mg/100ml à 35°C, ce qui correspond à des taux de pertes de 23,81%, 17,26% et 21,13% à 25°C, et 30,24%, 21,94%, et 28,93% à 35°C. Ces taux sont inférieurs à ceux rapportés par **Babsky et al. (1986)** pour le jus de pomme clarifié : 57,2% après 84 jours de conservation à 37°C, et 86,8% après 111 jours.

Pour un jus de pêche concentré, **Buedo et al. (2001)** ont rapporté une régression de 35%, après 45 jours de conservation à 30°C et 60% à 37°C. **Sharma et al. (2004)** ont enregistré une perte en acides aminés de 9,13% pour un jus de citron conservé à température ambiante durant 9 mois. Pour un jus de carotte concentré (20°Brix), **Wang et al. (2006)** ont indiqué une perte de 53,10% après 150 jours de conservation à 25°C et 62,06% à 37°C. Une perte de 48,69% à 25°C et 72,85% à 37°C a été enregistrée pour le même jus après 180 jours de conservation (**Wang et al., 2007**). La perte en acides aminés observée dans la présente étude est peut être attribuée aux différentes réactions (réaction des acides aminés avec les sucres, l'acide ascorbique et les autres constituants de jus).

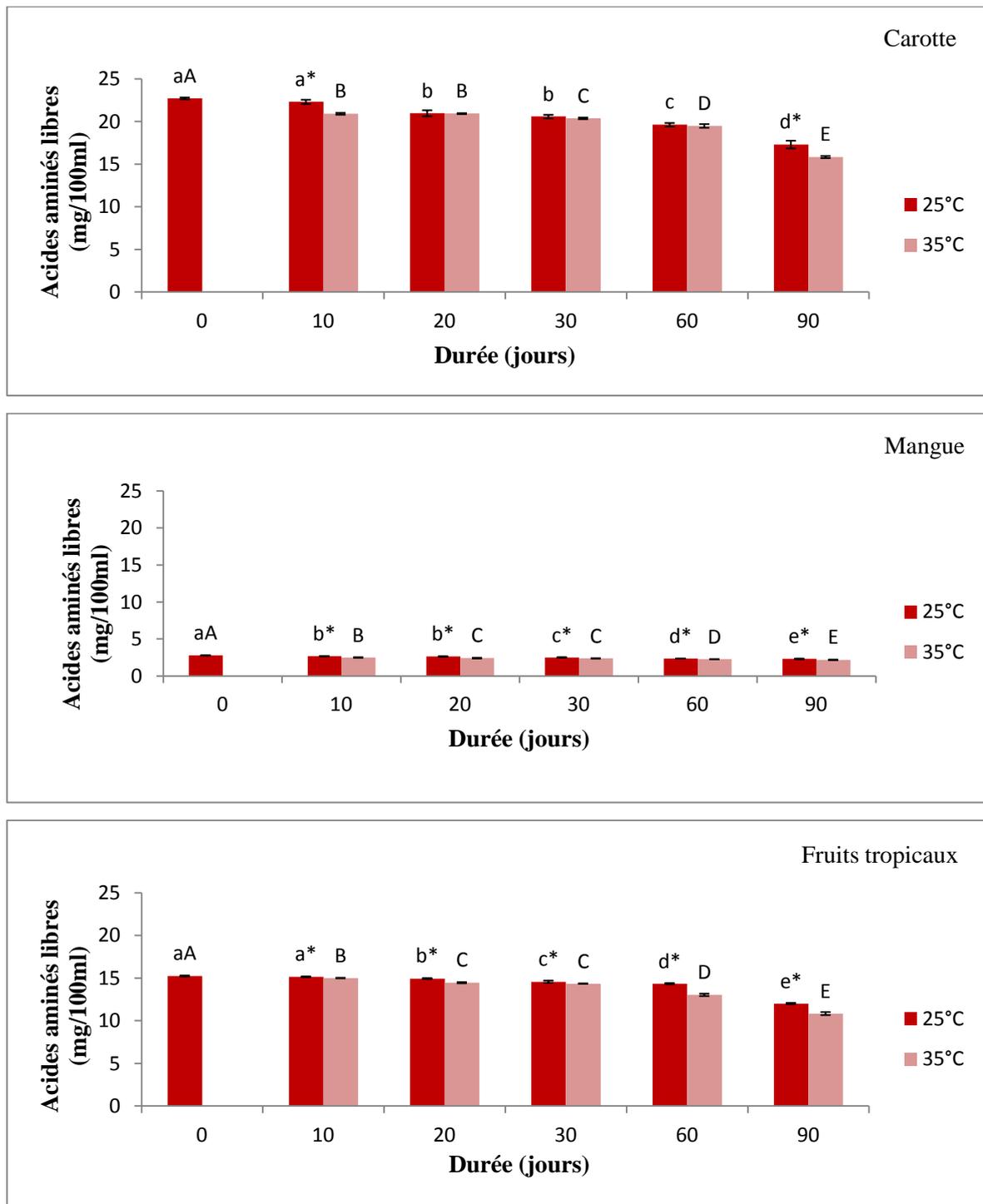


Figure 17. Evolution des acides aminés des boissons analysées au cours de la conservation.

Les barres verticales représentent les écartypes ;

L'astérisque(*) indique une différence significative entre les résultats obtenus à 25° et 35°C à $p < 0,05$ par le test (t).

Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($P < 0,05$) :

Les lettres minuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 25°C.

Les lettres majuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 35°C.

L'analyse statistique par le test (t), montre que la température de conservation a un effet significatif ($p < 0,05$) sur la teneur en acides aminés des boissons à la mangue et aux fruits tropicaux durant toute la période d'analyse, mais pour la boisson à la carotte la température influe uniquement au début et à la fin de conservation. Les pertes en acides aminés des jus augmentent avec l'augmentation de la température de conservation, ce qui confirme les résultats obtenus par **Del Castillo et al. (1998)**.

II. Les antioxydants

II.1. L'acide ascorbique

Le jus de fruits est une source très intéressante d'acide ascorbique, qui est un antioxydant hydrosoluble très puissant. En raison de son instabilité et de son importance nutritionnelle, il est considéré comme un paramètre de contrôle de la qualité nutritionnelle des denrées alimentaires (**Esteve et al., 2005 ; Martin-Diana et al., 2009**).

Les boissons analysées présentent des teneurs en acide ascorbique différentes; la boisson à la carotte présente la teneur la plus élevée (45,09mg/100ml). Cette teneur est due à la richesse des fruits incorporés dans cette boisson en acide ascorbique, et à l'enrichissement au cours du procès. Cette teneur est comparable à celle obtenue par **Lee et al. (1999)** pour un jus d'orange (40,50mg/100ml). Les boissons aux fruits tropicaux et à la mangue présentent des concentrations d'acide ascorbique de 19,87 et 17,74mg/100ml, respectivement (figure 18). Des teneurs comparables en acide ascorbique sont rapportées par **Sanusi et al. (2008)** pour un jus de mangue (20mg/100ml), et par **Dumbravă et al. (2011)** pour un jus de pomme (20,40mg/100ml). Une teneur en acide ascorbique de 23mg/100ml est enregistrée par **Choi et al. (2002)** pour un jus d'orange sanguine. Des concentrations de 50mg/100ml de cocktail de jus de fruits : carotte-citron-orange-mangue, et 31,30mg/100ml de cocktail de jus de fruits : orange-fruit de la passion-citron ont été enregistrées par **Costa et al. (2012)**.

L'analyse statistique montre une diminution significative ($p < 0,05$) de la teneur en acide ascorbique des boissons aux fruits tropicaux et à la mangue, conservées à 25°C et 35°C, tout au long de la période de stockage. Concernant la boisson à la carotte conservée à 25°C, une stabilité est observée au début de la conservation (figure 18). Après 90 jours, les boissons à la carotte, mangue et aux fruits tropicaux ont enregistré des taux de perte en acide ascorbique de 42,16%, 72,66% et 67,68% à 25°C et 58,55%, 79,31% ; 82,38% à

35°C, respectivement. Plusieurs études ont démontré la diminution de la teneur en acide ascorbique au cours du stockage. **Burdurlu et al. (2006)** ont enregistré des pertes de 16,3% pour un jus d'orange, 45,4% pour un jus de citron, 30% pour un jus de pamplemousse, 33,6% pour un jus de mandarine conservés à 28°C, et 77,5%, 75,7%, 73% et 76,4% à 37°C, respectivement. Une diminution de 31% et 81% est constatée par **Klimczak et al. (2007)** pour un jus d'orange après 6mois de stockage à 28°C et 38°C, respectivement.

Laorko et al. (2013) ont signalé une baisse de 70,30% du taux d'acide ascorbique d'un jus d'ananas après six mois de stockage à 27°C, et 74,8% à 37°C. **Bosch et al. (2013)** ont noté une perte de 17% dans un mélange de jus et de purée de fruits, après 90jours de conservation à 25°C, et 37,1% à 37°C.

L'acide ascorbique est un nutriment hautement sensible à la chaleur. Des études ont montré que la diminution la teneur en acide ascorbique durant la conservation dépend de plusieurs facteurs dont la température, le pH, la lumière, l'oxygène, l'activité de l'eau, la présence des ions métalliques, la durée de stockage, le type d'emballage et le traitement appliqué (**Klimczak et al., 2007 ; Bhat et al., 2011**).

Il est intéressant de signaler que la teneur en acide ascorbique des jus diminue aussi lors d'un stockage réfrigéré. **Choi et al. (2002)** ont constaté une diminution de la teneur en acide ascorbique d'un jus d'orange sanguine durant un stockage réfrigéré (4,5°C) de sept semaines. La même observation est mentionnée par **Esteve et al. (2005)** pour un jus d'orange après 45jours de conservation à 4 et 10°C. Ces auteurs signalent aussi que le taux de diminution de la teneur en acide ascorbique d'un jus d'orange est de 1,4 à 2,4% par jour pour le jus conservé à 4°C et de 2,2 à 4,6% à 10°C.

La rétention de la vitamine C a été utilisée comme indicateur de la durée de conservation de jus de fruits. Cette durée peut être déterminée par la perte de 50% de la vitamine C (**Laorko et al., 2013**). Il a été rapporté que plusieurs sous produits sont issus de la dégradation de l'acide ascorbique (furaldéhyde et hydroxyméthylfurfural) ; leur présence est considérée comme un indice de brunissement (**Burdurlu et al., 2006**).

L'analyse statistique par le test (t) révèle que la température de conservation a un effet significatif sur les teneurs en acide ascorbique des trois boissons analysées, durant les périodes d'analyse.

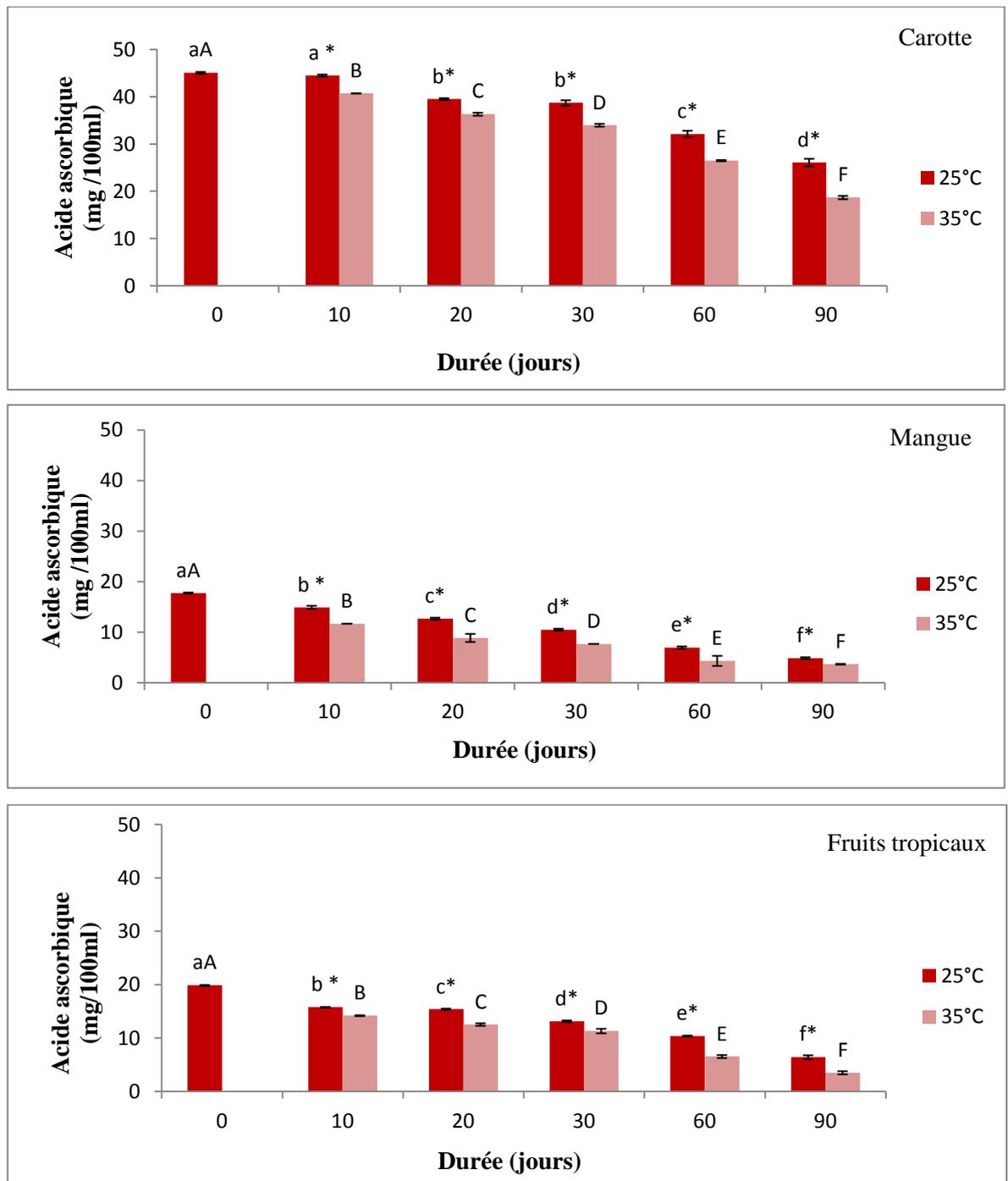


Figure 18. Evolution des teneurs en acide ascorbique des boissons analysées au cours de la conservation des boissons.

Les barres verticales représentent les écartypes ;

L'astérisque(*) représente la différence significative des résultats obtenus à 25° et 35°C à chaque analyse ($p < 0,05$) par le test (t).

Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($P < 0,05$) :

Les lettres minuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 25°C.

Les lettres majuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 35°C.

II.2. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont l'une des principales classes de pigments naturels ; leur distribution dans le règne végétal est extrêmement large. L'augmentation de la consommation de ces composés a été liée à la diminution du risque de développement des maladies cardiovasculaires et des cancers (**Plaza *et al.*, 2011**).

Les teneurs en caroténoïdes des boissons analysées ainsi que leur évolution au cours de la conservation sont représentées dans la figure 19. Les boissons à la carotte, mangue et aux fruits tropicaux ont des teneurs en caroténoïdes de 2,05 ; 0,28 et 1,09mg/100ml, respectivement. Les boissons à la carotte et aux fruits tropicaux présentent les concentrations les plus élevées ; cela est dû à la richesse des fruits incorporés et à l'addition du β -carotène lors de la fabrication de ces boissons.

Les résultats de la présente étude diffèrent de ceux obtenus par **Mouly *et al.* (1999)** pour deux jus d'orange (1,7 et 0,48 mg/100ml). Des concentrations de 4,5 à 14,6 mg/100ml de jus de carotte ont été rapportées par **Marx *et al.* (2000)**. Pour le jus d'orange différentes teneurs ont été enregistrées par plusieurs auteurs ; 0,3mg/100ml (**Gardner *et al.*, 2000**), 1,2mg/100ml (**Gama et Sylos, 2005**) et 1,37mg/100ml (**Esteve *et al.*, 2009** ; **Melendez-Martinez *et al.*, 2010**). **Aider et de Halleux (2008)** ont enregistré une concentration de 1,01mg/100ml de jus d'abricot concentré ; ce résultat est similaire à celui obtenu pour la boisson aux fruits tropicaux analysée dans la présente étude. **Santhirasegaram *et al.* (2013)** ont rapporté une concentration de 0,08mg/100ml de jus de mangue.

Après 90 jours de conservation à 25°C et 35°C, l'analyse statistique ($p < 0,05$) montre une faible diminution de la teneur en caroténoïdes de la boisson à la carotte au début de la conservation, puis une stabilité à partir du 30^{ème} jour. Le taux de perte enregistré à la fin de stockage est de 3,90% à 25°C et 5,85% à 35°C (figure 19).

Concernant la boisson à la mangue, une légère baisse de la teneur en caroténoïdes est observée au début de la conservation, suivie d'une certaine stabilité à partir du 20^{ème} jour jusqu'à la fin de stockage. Cette diminution correspond à une perte de 21,4% à 25°C et 28,57% à 35°C.

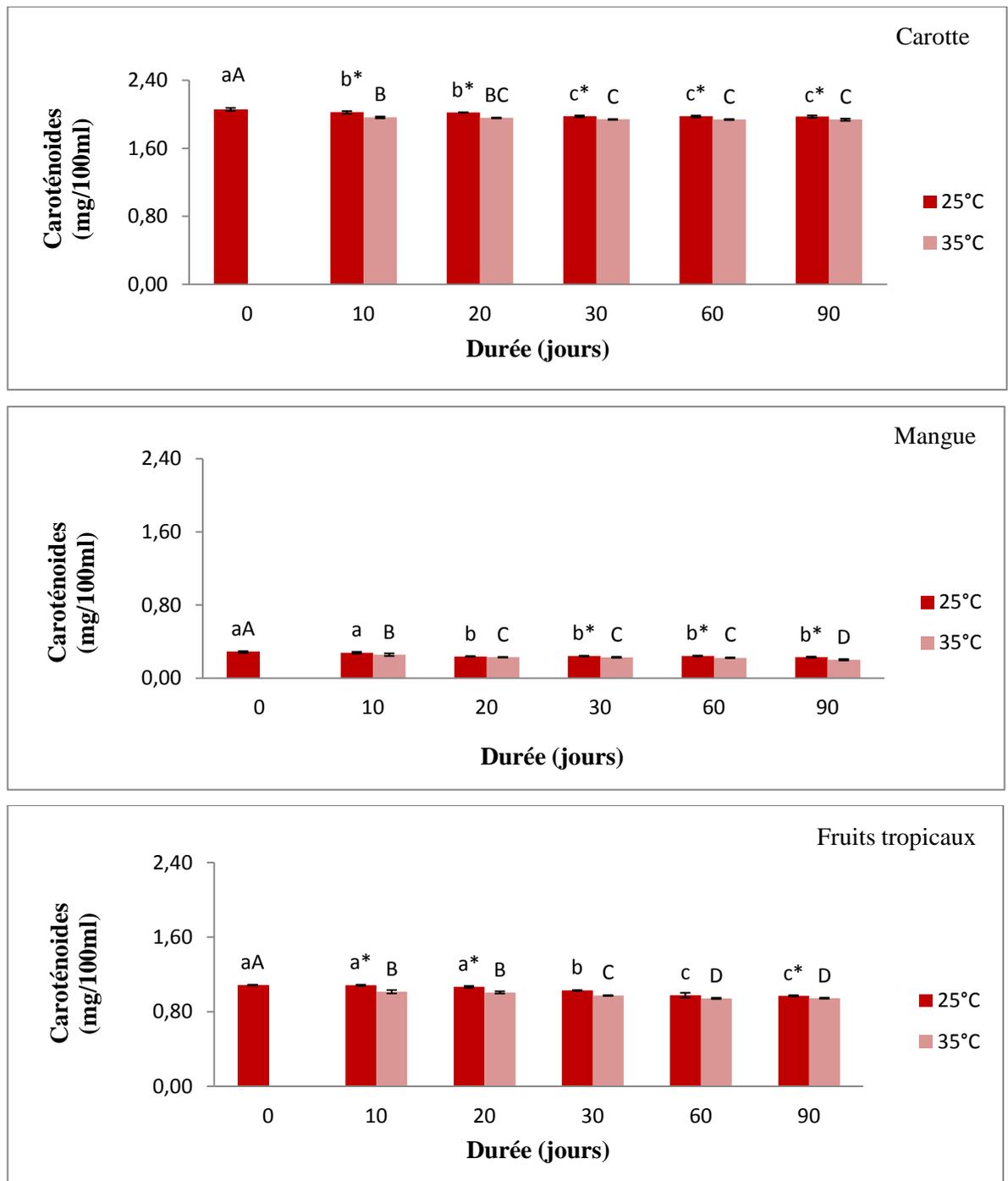


Figure 19. Evolution des teneurs en caroténoïdes des boissons analysées au cours de la conservation.

Les barres verticales représentent les écartypes ;

L'astérisque(*) indique une différence significative entre les résultats obtenus à 25° et 35°C à $p < 0,05$ par le test (t).

Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($P < 0,05$) :

Les lettres minuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 25°C.

Les lettres majuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 35°C.

L'analyse statistique montre la stabilité de la teneur en caroténoïdes de la boisson aux fruits tropicaux conservée à 25°C et 35°C au début et à la fin de la conservation, avec une régression significative au 30^{ème} jour ; ce qui a engendré une perte de 10,68% à 25°C et 13,44% à 35°C après 90 jours de stockage (figure 19). Selon **Choi et al. (2002)**, la stabilité des caroténoïdes observée durant le stockage des jus est peut être liée à la protection fournie par l'acide ascorbique.

Les études qui traitent l'évolution de la teneur en caroténoïdes des jus conservés à 25 et 35°C sont rares. L'étude menée par **Chen et al. (1996)** a montré l'évolution des caroténoïdes de jus de carotte au cours du temps ; la lutéine, l' α -carotène, le β -carotène et leurs isomères. Le β -carotène est le composé le plus abondant dans le jus de carotte, il présente une teneur de 5,97mg/100ml, qui diminue à 5,09 ; 4,90 et 4,64mg/100ml après 90 jours de conservation à 4, 25 et 35°C, ce qui correspond à des taux de perte de 14,74% ; 17,92% et 22,37% respectivement. Cependant, les isomères de ces composés augmentent avec la température et la durée de stockage. Une diminution de la teneur en caroténoïdes est constatée aussi par **Choi et al. (2002)** pour un jus d'orange sanguine après sept semaines de conservation à 4,5°C.

La stabilité des caroténoïdes diffèrent d'un aliment à un autre même dans les mêmes conditions de stockage et du procès. Les caroténoïdes sont des composés hautement insaturés d'où leur extrême susceptibilité à l'isomérisation et l'oxydation, qui entraîne une perte de la couleur et de l'activité biologique. La diminution de la teneur en caroténoïdes durant le stockage est due principalement à l'oxydation enzymatique ou non enzymatique, tandis que l'isomérisation du *trans* vers *cis* est la conséquence du traitement thermique (**Dutta et al., 2005**). La dégradation des caroténoïdes dépend du type de fruits, des conditions de stockage : la température et de la durée de conservation (**Melandez-Martinez et al., 2007**), ainsi que la lumière, les acides et l'oxygène (**Gama et Sylos, 2007**). **Zepka et Mercadante (2009)** ont montré dans leur étude l'effet de la température et la durée de traitement thermique sur les teneurs en caroténoïdes d'un jus de pomme, une perte de 13,81% a été enregistré pour le jus de pomme qui a subi un traitement thermique de 60°C durant 1heure, tandis qu'après 4heures de traitement thermique à la même température une perte de 30% a été observée. L'augmentation de la température induit aussi une déstabilisation des doubles liaisons des caroténoïdes ce qui favorise leur oxydation.

A l'exception de la boisson aux fruits tropicaux (30 et 60^{ème} jours) et de la boisson à la mangue (10 et 20^{ème} jours), l'analyse statistique par le test (t) montre que la température de conservation a un effet significatif ($p < 0,05$) sur la teneur en caroténoïdes des boissons analysées durant toute les périodes d'analyses.

II.3. Les polyphénols totaux

Les polyphénols sont les antioxydants les plus abondants dans notre alimentation ; ce sont des composants largement répandus dans les fruits, les légumes et les boissons. Les polyphénols ont un rôle dans la prévention des maladies cardiovasculaires, du cancer, diabète et des maladies neurodégénératives (**D'Archivio et al., 2007**).

Les composés phénoliques réagissent avec les acides phosphotungstique et phospho-molybdique du réactif de Folin-Ciocalteu ; d'autres composés tels que l'acide ascorbique et les caroténoïdes, peuvent aussi réagir avec ce réactif (**Ghafar et al., 2010**).

Les teneurs en polyphénols totaux des boissons analysées et leur évolution au cours de la conservation sont représentées dans la figure 20. Les boissons à la carotte, mangue et aux fruits tropicaux présentent des teneurs en polyphénols totaux de 78,72 ; 41,35 et 50,37mg EAG /100ml, respectivement. Des différences sont observées entre les résultats obtenus et ceux rapportés par **Gardner et al. (2000)** pour les jus d'orange (75,5 mg/100ml), d'ananas (35,8 mg/100ml) et de pomme (33,9 mg/100ml). **Rekha et al. (2012)** ont rapporté des teneurs comprises entre 53,2 et 85mg/100ml de jus d'agrumes. **Costa et al. (2012)** ont noté des teneurs de 41,1 et 31,6 mg/100ml de jus: carotte-citron-orange-mangue, et orange-citron-fruit de la passion respectivement. Une concentration de 34,3 mg/100ml de jus frais de carotte a été rapporté par **Ma et al. (2013)**. **Velazquez-Estrada et al. (2013)** ont enregistré une concentration de $77,10 \pm 12,23$ mg/100ml de jus d'orange ; cette teneur est similaire à celle obtenue pour la boisson à la carotte analysée.

Une diminution significative ($p < 0,05$) de la teneur en composés phénoliques de la boisson de carotte conservée à 25 et 35°C est observée durant toute la période de stockage. Cette diminution a engendré une perte de 36,05% à 25°C, et 42,61% à 35°C. Concernant les boissons à la mangue et aux fruits tropicaux, l'analyse statistique montre une diminution de la teneur en polyphénols totaux de ces boissons à 25°C.

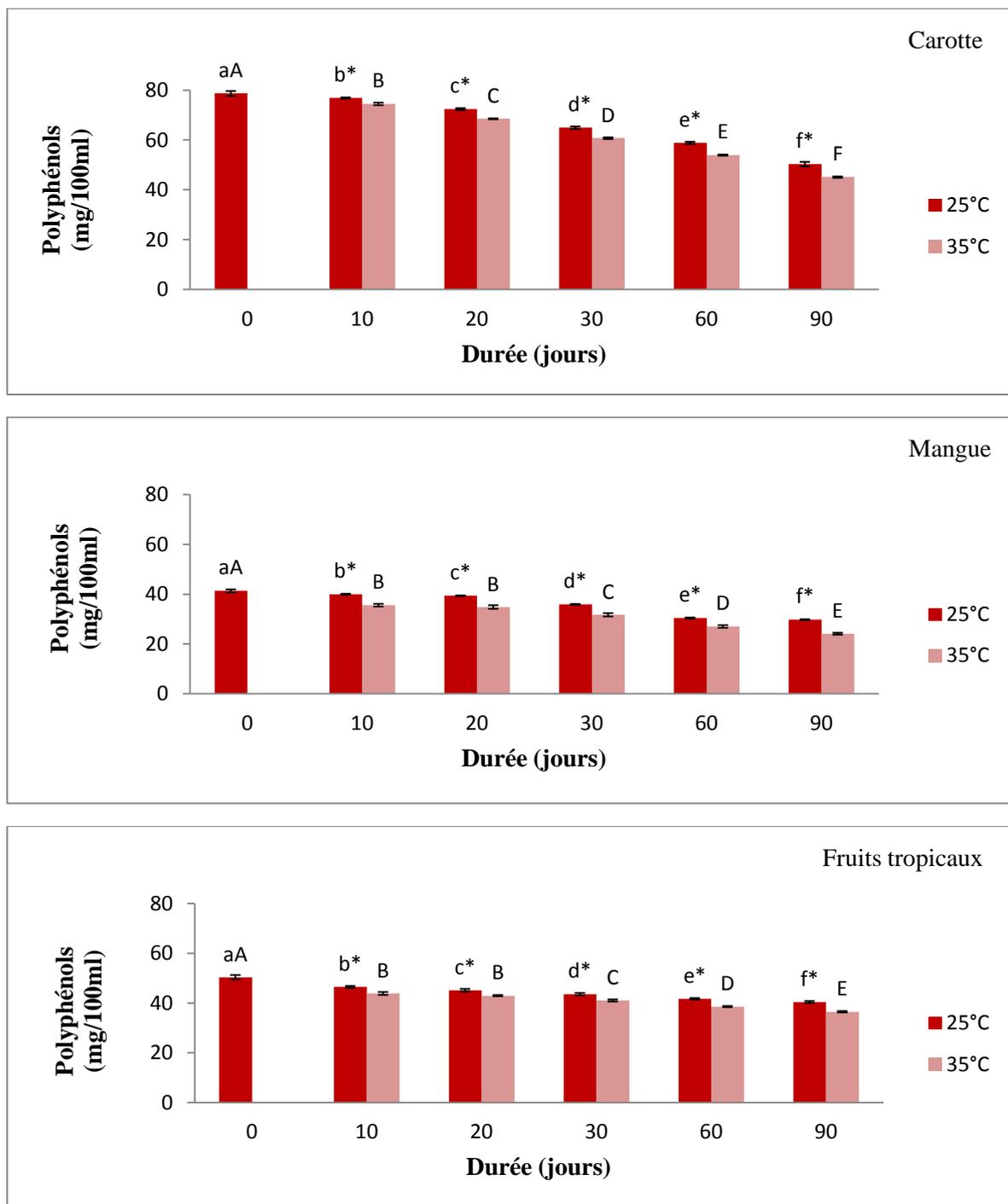


Figure 20. Evolution des teneurs en polyphénols totaux des boissons au cours de la conservation.

Les barres verticales représentent les écartypes ;

L'astérisque(*) indique une différence significative entre les résultats obtenus à 25° et 35°C à $p < 0,05$ par le test (t).

Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($P < 0,05$) :

Les lettres minuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 25°C.

Les lettres majuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 35°C.

À 35°C, une stabilité de la teneur en polyphénols totaux est observée du 10 au 20^{ème} jour de conservation, suivie d'une régression jusqu'à la fin de stockage ; ce qui correspond à des taux de perte de 28 et 19,81% à 25°C et 41,64 et 27,59% à 35°C respectivement.

L'évolution de la teneur en polyphénols totaux au cours de la conservation a fait l'objet de plusieurs études. Une étude est réalisée par **Klimczak et al. (2007)** sur l'effet des conditions de stockage d'un jus d'orange, les résultats ont montré une diminution de la teneur en composés phénoliques après 4mois de stockage à 28 et 38°C, des pertes de 11,8% et 19,44% sont observées, respectivement. **Lee et al. (2007)** ont constaté une baisse de 17,7% à 25°C et 20,28% à 35°C pour un jus de banane clarifié après 90jours de conservation. **Oszmianski et Wojdylo, (2009)** ont enregistré une perte en acides phénoliques de 15,82% dans un jus de pomme conservé à 30°C durant 6mois. **Hamedani et al. (2012)** ont rapporté une concentration de 52,16mg/100ml de jus d'orange sanguine, qui diminue à 36,15mg/100ml, après 85jours de conservation à 22°C, ce qui correspond à une perte de 30,7%. **Laorko et al. (2013)** ont constaté des pertes en polyphénols totaux de 11,2%, 14,9% et 15,3%, après 6mois de conservation d'un jus d'ananas clarifié à 4, 27 et 38°C, respectivement. La diminution des teneurs en composés phénoliques observée dans la présente étude est peut être due à l'oxydation des polyphénols et aux réactions de polymérisation, qui réduisent le nombre de groupes hydroxyles libres réagissant avec le réactif du Folin-Ciocalteu. La diminution des polyphénols augmente avec la durée et la température de stockage (**Lee et al., 2007**). La stabilité des polyphénols dans les boissons est influencée par plusieurs facteurs tels que l'exposition à la lumière, l'oxygène, la température de stockage et le type d'emballage (**Siah et al., 2011**).

Le test (t) révèle que la température de conservation (25°C et 35°C) a un effet significatif sur les teneurs en polyphénols totaux des boissons étudiées, tout au long de la période de stockage.

II.4. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des antioxydants très puissants. Des études épidémiologiques ont été effectuées afin de savoir la relation entre le régime alimentaire riche en flavonoïdes et la diminution du risque des maladies dégénératives, la plupart de ces études ont démontré que les polyphénols et les flavonoïdes ont un effet « scavenger » sur les radicaux

libres qui jouent un rôle crucial dans l'apparition de nombreuses maladies (**Klimczak et al., 2007 ; Jaganath et Crozier, 2010**).

Les teneurs en flavonoïdes des boissons analysées et leur évolution au cours de la conservation sont indiquées dans la figure 21. Les résultats sont exprimés en mg équivalent de quercitine/100ml de boisson. Les teneurs en flavonoïdes enregistrées pour les boissons à la carotte, mangue et aux fruits tropicaux sont 1,63 ; 0,96 et 1,14mg EQ/100ml, respectivement. Ces résultats sont inférieurs à ceux rapportés par la littérature. **Kelebek et al. (2009)** ont enregistré 25,27mg de flavanones/100ml de jus d'orange. **Ghafar et al. (2010)** ont noté des concentrations de flavonoïdes qui varient de 2,99 à 22,5mg EH/100ml de jus de quatre espèces d'agrumes, dont l'héspéridine est le constituant le plus abondant. Des teneurs de 3mgEE/100ml de jus orange-carotte-citron-mangue, et 11,7mgEE/100ml de jus orange-citron-fruits de la passion ont été rapportées par **Costa et al. (2012)**. Une concentration de 12,28mg/100ml de jus d'orange a été enregistrée par **Velazquez-Estrada et al. (2013)**.

L'analyse statistique ($p < 0,05$) montre une diminution significative de la teneur en flavonoïdes des boissons étudiées, durant le premier mois de conservation, suivie d'une stabilité jusqu'à la fin de stockage, cependant les boissons à la carotte et mangue conservées à 35°C présentent des pertes en flavonoïdes moins importantes qu'à 25°C (33,12% à 25°C, 26,38% à 35°C pour la boisson à la carotte, et 75% à 25°C, 70,83% à 35°C pour la boisson à la mangue). Il est probable que les mouvements de molécules sont à plus grande vitesse à température élevée, ce qui fait que les flavonoïdes diffusent rapidement vers l'agent d'extraction (**Xu et al., 2005**). Concernant la boisson aux fruits tropicaux, le taux de perte enregistré est 36,84% à 25°C et 40,35% à 35°C. **Oszmianski et Wojdylo (2009)** ont constaté une perte en flavonols de 37,28 à 50,50 % d'un jus de pomme après 6mois de stockage à 30°C. Une baisse de 23,55% des flavonoïdes a été observée pour un jus d'orange sanguine après 85 jours de conservation à 22°C (**Hamedani et al., 2012**).

A l'exception de la boisson aux fruits tropicaux (90^{ème} jour), de la boisson à la mangue (60 et 90^{ème} jours) et de la boisson à la carotte (20, 30 et 90^{ème} jours), le test (t) indique que la température de conservation (25°C et 35°C) a un effet significatif sur les teneurs en flavonoïdes des boissons analysées.

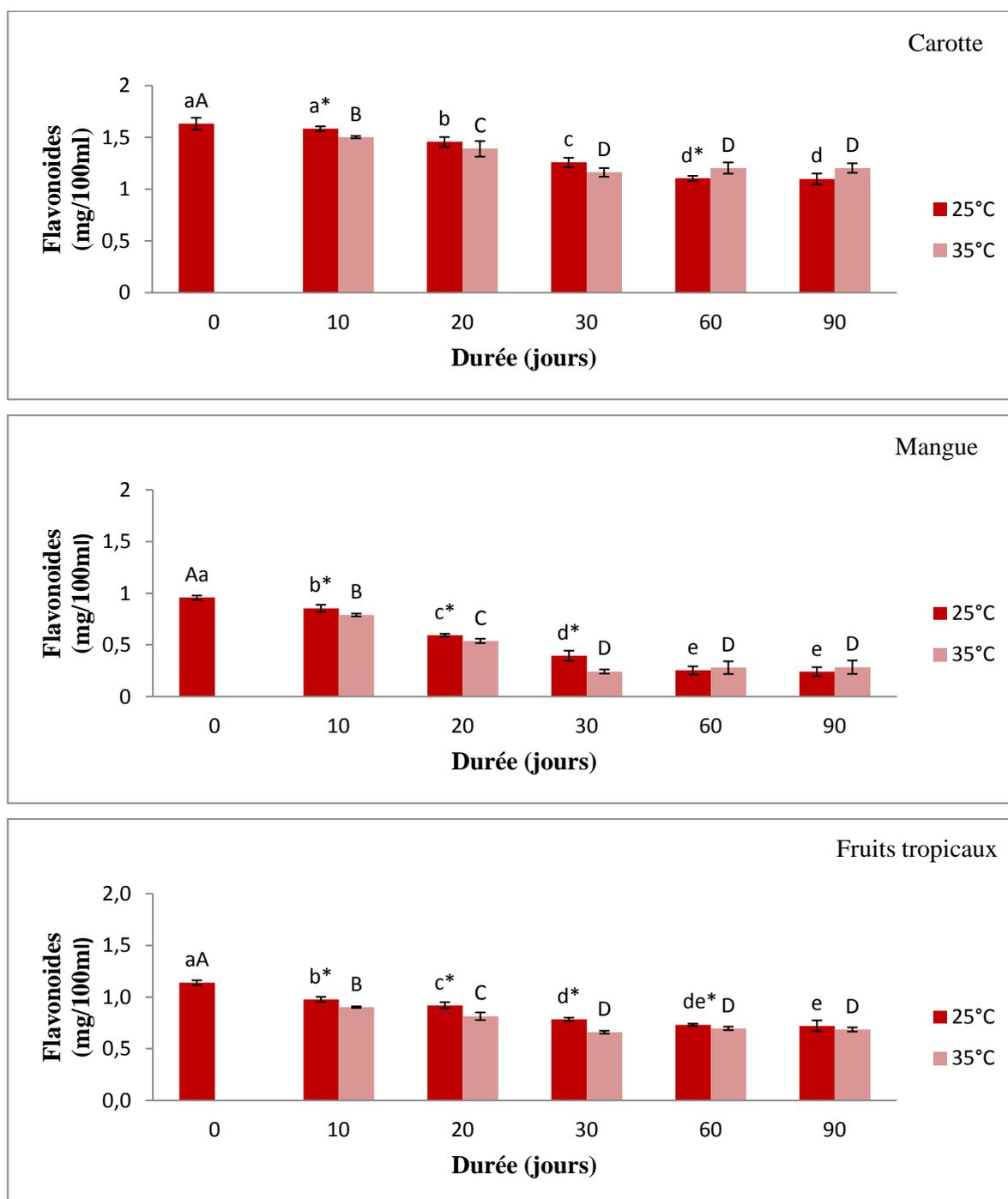


Figure 21. Evolution des teneurs en flavonoïdes des boissons analysées au cours de la conservation.

Les barres verticales représentent les écartypes ;

L'astérisque(*) indique une différence significative entre les résultats obtenus à 25° et 35°C à $p < 0,05$ par le test (t).

Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($P < 0,05$) :

Les lettres minuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 25°C.

Les lettres majuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 35°C.

III. Activité antioxydante

Les radicaux libres se produisent dans l'organisme humain, ils font partie de la physiologie normale, le déséquilibre du système de défense antioxydant du corps et la formation des radicaux libres provoquent une surproduction de ces radicaux, cela peut conduire au développement des maladies cardiovasculaires et du cancer. La consommation des aliments riches en antioxydants protège le corps de ces maladies, augmente la défense cellulaire et aide à prévenir les dommages oxydatifs (**Wong *et al.*, 2005**).

Les vitamines, les composés phénoliques et les caroténoïdes sont les principaux antioxydants naturels présents dans les fruits et les légumes. L'acide ascorbique et les composés phénoliques sont connus comme des antioxydants hydrophiles, tandis que les caroténoïdes sont connus comme des antioxydants lipophiles (**Thaipong *et al.*, 2006**).

Compte tenu de la complexité des processus d'oxydation et la nature diversifiée des antioxydants, avec des composants à la fois hydrophiles et hydrophobes, il n'y a pas une méthode universelle par laquelle l'activité antioxydante peut être mesurée quantitativement d'une façon bien précise. Le plus souvent il faut combiner les réponses de tests différents et complémentaires pour avoir une indication sur la capacité antioxydante de l'échantillon à tester. Dans la présente étude, l'estimation de l'activité antioxydante des boissons étudiées est déterminée par deux méthodes basées sur des mécanismes de réaction différents.

- La première méthode est l'évaluation de l'activité antiradicalaire qui est basée sur la capacité des boissons analysées à neutraliser le radical DPPH[•].
- La deuxième méthode est l'estimation du pouvoir réducteur en mesurant la capacité de ces boissons à réduire les ions métalliques (fer ferrique en fer ferreux).

III. 1. Activité antiradicalaire

La mesure de l'activité antiradicalaire par le radical DPPH est une méthode couramment employée pour évaluer l'activité antioxydante ; elle est basée sur la réduction du radical DPPH par un transfert d'hydrogène, qui se traduit par une décoloration de la solution de DPPH du violet au jaune (**Wong *et al.*, 2005**). L'activité antiradicalaire est exprimée en mg équivalent d'acide gallique par 100 ml de la boisson. Les résultats des boissons étudiées sont illustrés dans la figure 22, et révèlent que ces boissons ont le pouvoir de céder des atomes d'hydrogène pour agir comme antioxydant.

Dans la présente étude, la boisson à la carotte présente la meilleure activité antiradicalaire (61,22mg EAG/100ml), suivie des boissons à la mangue (36,98 mg/100ml) et aux fruits tropicaux (27,29mg/100ml).

Floegel et al. (2011) ont enregistré des différentes activités antiradicalaires ; pour un jus de pomme (18,9mgEAA/100ml), pour jus de citron (41,8mgEAA/100ml) et pour un jus orange (47,4mgEAA/100ml), et une activité antiradicalaire de 72,4mg EAA/100g de mangue. **Costa et al. (2012)** ont enregistré des activités antiradicalaires de 98,1 et 29,4mg ET/100ml de jus commercial orange-citron-carotte-mangue et cocktail de jus d'orange-fruit de la passion-citron respectivement.

Une diminution significative ($p < 0,05$) de l'activité anti radicalaire des boissons analysées est observée durant la période de conservation à 25°C et 35°C.

L'activité anti radicalaire de la boisson à la carotte a diminué de 61,22 à 21,60mg EAG/100ml (à 25°C) et 17,63mg EAG/100ml (à 35°C), ce qui correspond à des taux de perte de 64,71% et 71,20% à 25 et 35°C respectivement. Concernant les boissons à la mangue et aux fruits tropicaux, des taux de perte de 51,28% et 53,13% à 25°C, et 59,43% et 59,58% à 35°C, respectivement sont enregistrés à la fin de stockage. **Klimczak et al. (2007)** révèlent une baisse de 45% et 84% de l'activité antiradicalaire d'un jus d'orange après 6mois de stockage à 28et 38°C, respectivement. Par contre, une légère régression (5,49%) a été constatée par **Oszmianski et Wojdylo (2009)** pour un jus de pomme conservé à 30°C durant 6mois. **Cao et al. (2012)** ont enregistré une perte de 41,32% pour un jus de fraise après 6mois de stockage à 25°C. **Hamedani et al. (2012)** ont rapporté une baisse de 11,73% de l'activité antiradicalaire d'un jus d'orange sanguine après 85jours de conservation à 22°C.

Durant la conservation des boissons analysées, les boissons conservées à 25°C présentent une activité antiradicalaire supérieure à celles conservées à 35°C. La diminution de l'activité antiradicalaire des boissons étudiées est peut être liée à la diminution des teneurs en composés phénoliques observée au cours du stockage de ces boissons. Cette diminution est peut être liée aussi à la perte en acide ascorbique, ce qui a été suggéré par **Laorko et al. (2013)** lors d'un stockage d'un jus d'ananas à 27°C et 37°C durant six mois.

L'analyse statistique par le test (t) montre que la température de conservation a un effet significatif sur l'activité antiradicalaire de toutes les boissons analysées, durant la période de conservation.

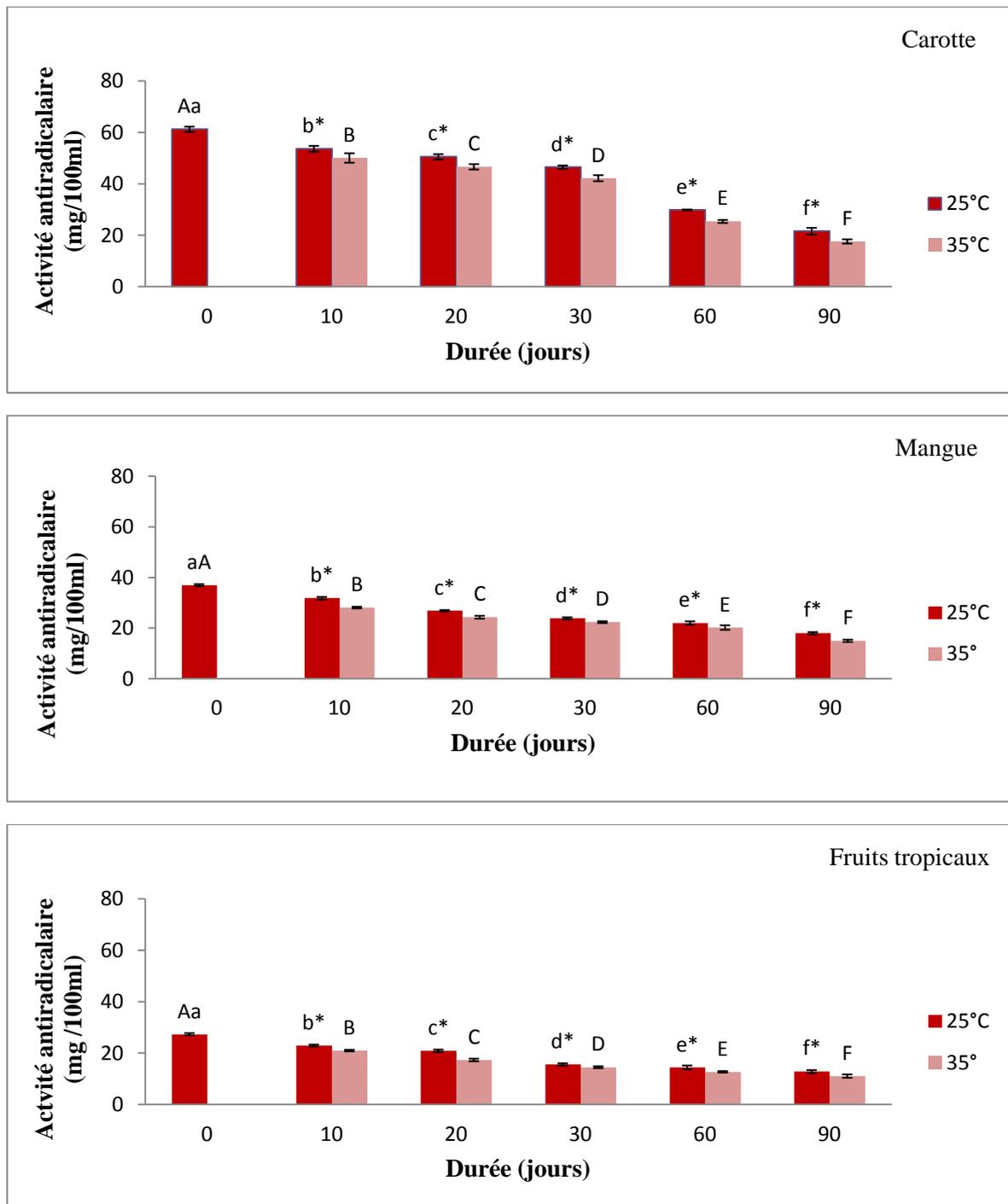


Figure 22. Evolution de l'activité antiradicalaire des boissons au cours de la conservation.

Les barres verticales représentent les écartypes ;

L'astérisque(*) indique une différence significative entre les résultats obtenus à 25° et 35°C à $p < 0,05$ par le test (t).

Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($P < 0,05$) :

Les lettres minuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 25°C.

Les lettres majuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 35°C.

III. 2. Pouvoir réducteur

Les pouvoirs réducteurs des boissons analysées et leur évolution au cours de la conservation sont illustrés dans la figure 23. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique/100ml de boisson. Les boissons analysées présentent des pouvoirs réducteurs de 38,82 ; 23,92 et 27,64 mg EAG/100ml de boissons à la carotte, mangue et aux fruits tropicaux, respectivement. Des différences sont observées entre les résultats obtenus et ceux rapporté par **Xu et al. (2008)**, qui ont enregistré un pouvoir réducteur de 30,74mg EAA/100ml de jus d'agrume, et **Daramola (2013)**, qui a enregistré un pouvoir réducteur compris entre 80 et 100mg équivalent d'acide ferulique pour 100ml de jus de pomme de différentes variétés.

Le pouvoir antioxydant est fortement lié à la structure des composés phénoliques (**Picinelli lobo et al., 2009**), au nombre de groupements hydroxyles attachés aux noyaux phénoliques et le nombre de noyaux aromatiques (**Zulueta et al., 2012**).

Après 90jours de conservation, à 25°C et 35°C, une diminution significative du pouvoir réducteur des boissons à la carotte, mangue et aux fruits tropicaux est observée, tout au long de la période de stockage, soit des pertes de 40,60%, 38,96% et 48,70% à 25°C, et 46,26%, 42,18% et 54,05% à 35°C, respectivement. Ce résultat est constaté par **Klimczak et al. (2007)**, qui ont enregistré une baisse de 34% et 57% du pouvoir réducteur d'un jus d'orange, après 6mois de stockage à 28 et 38°C, respectivement. Une perte de 20,65% a été rapportée par **Oszmianski et Wojdylo (2009)** pour un jus de pomme, conservé à 30°C durant 6 mois. **Cao et al. (2012)** ont enregistré une perte de 31,43% pour un jus de fraise, après 6mois de stockage à 25°C.

Le pouvoir antioxydant est attribué principalement aux composés phénoliques dont les flavonoïdes, qui sont des inhibiteurs de radicaux libres et des chélateurs d'ions métalliques qui catalysent l'oxydation des lipides (**Picinelli lobo et al., 2009**). Par conséquent, la diminution de l'activité antioxydante observée dans la présente étude est principalement due à la diminution de la teneur en composés phénoliques au cours de la conservation.

Le test (t) révèle que la température de conservation a un effet significatif ($p < 0,05$) sur le pouvoir réducteur de toutes les boissons analysées, tout au long de la période de stockage (figure 23). La température influe sur le pouvoir réducteur d'un jus en augmentant le risque d'oxydation de ces composés phénoliques.

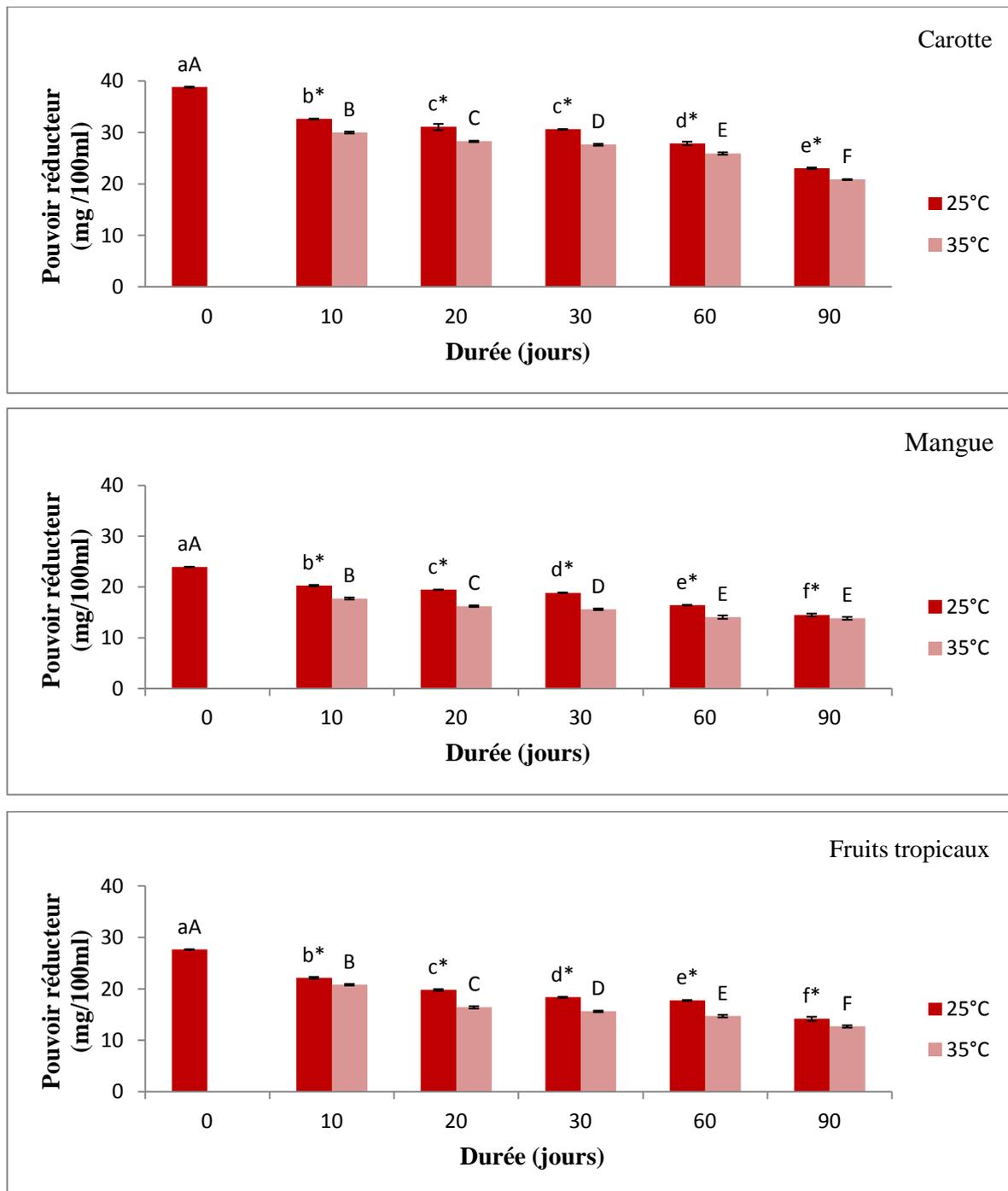


Figure 23. Evolution du pouvoir réducteur des boissons analysées au cours de la conservation.

Les barres verticales représentent les écarts types ;

L'astérisque(*) indique une différence significative entre les résultats obtenus à 25° et 35°C à $p < 0,05$ par le test (t).

Des lettres différentes indiquent des résultats significativement différents ($P < 0,05$) :

Les lettres minuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 25°C.

Les lettres majuscules sont attribuées pour la comparaison statistique des échantillons à 35°C.

IV. Etude des corrélations

Dans le but de déterminer la corrélation entre les différents constituants des boissons aux fruits conservées durant 90 jours à 25°C et 35°C, et afin d'évaluer la contribution des polyphénols, des flavonoïdes, des caroténoïdes et de l'acide ascorbique à l'efficacité antioxydante de ces boissons, une matrice de corrélation est réalisée. Les coefficients de corrélation obtenus sont élevés et statistiquement significatifs ($p < 0,05$) ou hautement significatifs ($p < 0,01$) ou très hautement significatifs ($p < 0,001$).

Des corrélations positives très hautement significatives sont observées entre l'acidité des boissons aux fruits analysées et la teneur en acides aminés ($r=0,95$), en acide ascorbique ($r=0,81$), en caroténoïdes ($r=0,98$), en polyphénols ($r=0,85$), en flavonoïdes ($r=0,81$), l'activité anti radicalaire ($r=0,51$) et le pouvoir réducteur ($r=0,68$). **Vieira et al. (2010)** ont signalé une corrélation positive très hautement significative ($r=0,99$) entre l'acidité d'un jus d'orange concentré et les teneurs en acides aminés de ce jus. A l'inverse, une corrélation négative très hautement significative est marquée entre le pH et l'acidité titrable, et absence de corrélation entre le pH et le Brix. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par **Rajasekar et al. (2012)** pour un jus de grenade.

Des corrélations négatives très hautement significatives sont enregistrées entre le contenu en HMF des boissons aux fruits étudiées et la teneur en glucides ($r=-0,90$) et l'activité antioxydante ($r=-0,64$).

Des corrélations positives très hautement significatives sont observées entre les teneurs en protéines des boissons analysées et les teneurs en acide ascorbique ($r=0,70$), en polyphénols totaux ($r=0,56$), en flavonoïdes ($r=0,49$), l'activité antiradicalaire ($r=0,82$) et le pouvoir réducteur ($r=0,69$). Ces résultats montrent la contribution des protéines à l'activité antioxydante.

La même observation est constatée par **Hamedani et al. (2012)** qui ont obtenu des corrélations positives hautement significatives entre les teneurs en protéines d'un jus d'orange sanguine et son activité antiradicalaire ($r=0,82$). Ces auteurs signalent aussi une corrélation hautement significative entre les teneurs en protéine et les teneurs en polyphénols ($r=0,46$).

Les teneurs en acides aminés des boissons analysées sont fortement corrélées avec les teneurs en caroténoïdes ($r=0,96$), en composés phénoliques ($r=0,86$), en flavonoïdes

($r=0,84$), en acide ascorbique ($r=0,78$) et le pouvoir réducteur ($r=0,71$) et modestement corrélées avec l'activité antioxydante ($r=0,49$).

L'acide ascorbique semble contribuer au pouvoir réducteur et à l'activité antiradicalaire des boissons analysées. Des corrélations très hautement significatives sont enregistrées entre les teneurs en acide ascorbique des différents échantillons et leur pouvoir réducteur ainsi que leur activité antiradicalaire. Les coefficients de corrélation sont respectivement $r=0,95$ et $r=0,90$. Ceci confirme la contribution de l'acide ascorbique à l'activité antioxydante des boissons testées. **Gardner et al. (2000)** rapportent une corrélation très hautement significative ($r=0,90$) entre la teneur en acide ascorbique de différents jus de fruits et leur pouvoir réducteur. Ces auteurs mentionnent aussi le pourcentage de contribution de l'acide ascorbique à la capacité anti oxydante de ces jus: 66% pour le jus d'orange, 89% pour le jus de pamplemousse et 0,8% pour des jus de pomme et d'ananas. **Morales-de la Peña et al. (2010)** ont constaté une corrélation positive entre l'acide ascorbique et l'activité anti oxydante d'une boisson lactée à base des jus de fruits ($r=0,93$). Ces auteurs rapportent que le changement de l'activité antioxydante au cours du temps est principalement lié à la variation de la teneur en acide ascorbique.

En outre, des corrélations très hautement significatives sont observées entre les teneurs en acide ascorbique et les teneurs en composés phénoliques ($r=0,97$), en flavonoïdes ($r=0,91$) et en caroténoïdes ($r=0,84$). Ceci signifie qu'il existe un effet potentiel synergique entre les antioxydants des boissons aux fruits.

Des corrélations très hautement significatives sont enregistrées entre les teneurs en caroténoïdes et les teneurs en composés phénoliques ($r=0,87$), en flavonoïdes ($r=0,86$), au pouvoir réducteur ($r=0,74$) et l'activité anti radicalaire ($r=0,55$).

Dans la présente étude la contribution des caroténoïdes à l'activité antioxydante est notée, mais d'après les résultats, cette contribution est inférieure à celle constatée avec l'acide ascorbique, les polyphénols totaux et les flavonoïdes.

Les polyphénols semblent contribuer au pouvoir réducteur et à l'activité antiradicalaire des boissons aux fruits analysées. Des corrélations très hautement significatives sont observées entre les teneurs en composés phénoliques et le pouvoir réducteur ainsi que l'activité antiradicalaire des boissons aux fruits testées.

Tableaux V. Matrice de corrélation des résultats obtenus pour les boissons aux fruits analysées

	pH	Acidité	Brix	HMF	Glucides	Protéines	Acides aminés	AA	Caroténoïdes	Poly-phénols totaux	Flavonoïdes	DPPH
pH	1,00											
Acidité	<i>-,88***</i>	1,00										
Brix	,05	-,13	1,00									
HMF	-,07	-,10	-,23*	1,00								
Glucides	,28**	-,12	0,20*	<i>-,90***</i>	1,00							
Protéines	,17	,29**	-,21*	<i>-,37***</i>	<i>,34***</i>	1,00						
Acides aminés	<i>-,91***</i>	<i>,95***</i>	-,03	-,26**	,01	,15	1,00					
AA	<i>-,50***</i>	<i>,81***</i>	-,12	<i>-,50***</i>	,30**	<i>,70***</i>	<i>,78***</i>	1,00				
Caroténoïdes	<i>-,86***</i>	<i>,98***</i>	-,15	-,16	-,09	<i>,32***</i>	<i>,96***</i>	<i>,84***</i>	1,00			
Polyphénols totaux	<i>-,60***</i>	<i>,85***</i>	-,02	<i>-,52***</i>	,30**	<i>,56***</i>	<i>,86***</i>	<i>,97***</i>	<i>,87***</i>	1,00		
Flavonoïdes	<i>-,60***</i>	<i>,81***</i>	,03*	<i>-,55***</i>	<i>,33***</i>	<i>,49***</i>	<i>,84***</i>	<i>,91***</i>	<i>,86***</i>	<i>,94***</i>	1,00	
DPPH	-,13	<i>,51***</i>	,02**	<i>-,63***</i>	<i>,49***</i>	<i>,82***</i>	<i>,49***</i>	<i>,90***</i>	<i>,55***</i>	<i>,85***</i>	<i>,76***</i>	1,00
Pouvoir réducteur	<i>-,37***</i>	<i>,68***</i>	-,03*	<i>-,64***</i>	<i>,46***</i>	<i>,69***</i>	<i>,71***</i>	<i>,95***</i>	<i>,74***</i>	<i>,93***</i>	<i>,90***</i>	<i>,91***</i>

(*) *Corrélation significative au seuil de la probabilité $p < 0,05$*

(**) *Corrélation hautement significative au seuil de la probabilité $p < 0,01$*

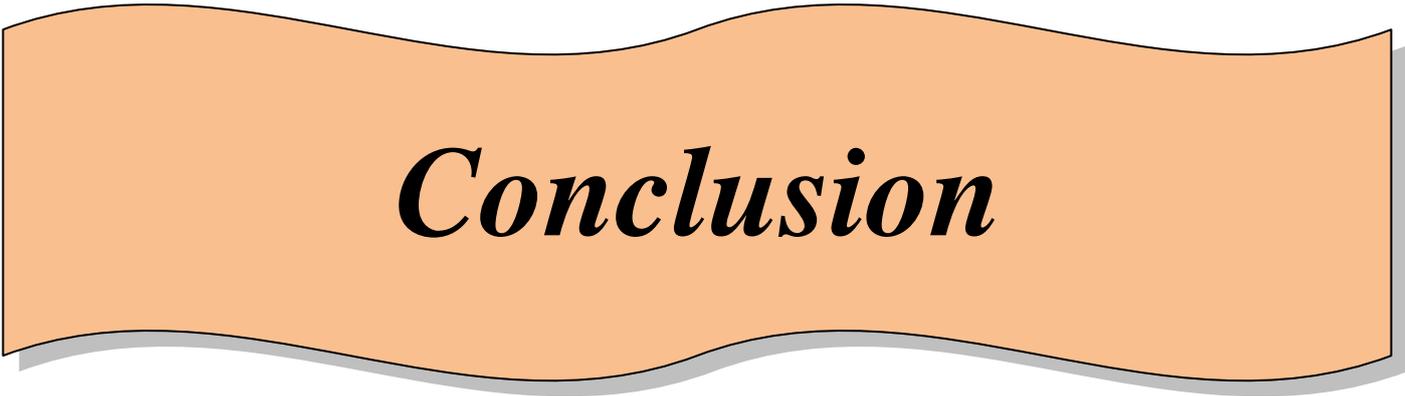
(***) *Corrélation très hautement significative au seuil de la probabilité $p < 0,001$*

Les coefficients de corrélation (r) sont de 0,93 et 0,85 respectivement. Ceci indique la contribution des composés phénoliques à la capacité antioxydante des boissons aux fruits. Une corrélation hautement significative ($r=0,74$) est constatée par **Fang et al. (2009)** entre les composés phénoliques d'un jus de fruit de cirier et le pouvoir réducteur. **Cao et al. (2012)** ont enregistré une corrélation significative entre les composés phénoliques et l'activité anti radicalaire des jus de fraise.

Parallèlement aux composés phénoliques, les flavonoïdes semblent être impliqués dans le pouvoir réducteur et l'activité antiradicalaire des boissons étudiées. Les coefficients de corrélation sont respectivement $r=0,90$ et $r=0,76$ indiquant ainsi la forte contribution de ces flavonoïdes à la capacité réductrice du fer des boissons testées.

Une corrélation très hautement significative est observée entre les polyphénols totaux et les flavonoïdes ($r=0,94$) ; les flavonoïdes semblent être la classe principale des composés phénoliques. Ces composés sont des antioxydants puissants avec des propriétés attribuées aux groupements hydroxyles attachés aux structures des phénols, qui leur permettent d'agir comme agents réducteurs, donneurs d'hydrogène et piègeurs des radicaux libres.

Des corrélations positives très hautement significatives existent entre l'activité antiradicalaire et le pouvoir réducteur ($r=0,91$), indiquant ainsi une similitude de mécanisme entre ces deux méthodes et la présence de molécules ayant des propriétés antiradicalaires et réductrices. Une corrélation de $r=0,95$ a été rapporté par **Tezcan et al. (2009)** entre l'activité antiradicalaire d'un jus de grenade et son pouvoir réducteur.



Conclusion

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La présente étude a pour but d'évaluer l'apport nutritionnel de trois boissons (boisson à la carotte, à la mangue et aux fruits tropicaux), et de suivre leur évolution au cours de stockage à 25°C et 35°C durant 90 jours, par la caractérisation des paramètres physico-chimiques (pH, acidité, Brix, teneurs en glucides, protéines et acides aminés libres), et le dosage des principaux antioxydants (acide ascorbique, caroténoïdes, polyphénols totaux et flavonoïdes), ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydante (activité antiradicalaire et pouvoir réducteur).

Les résultats obtenus montrent un apport différent en substances d'intérêt nutritionnel des boissons analysées ; la boisson à la carotte est la plus riche en acide ascorbique (45 mg/100ml), en caroténoïdes (2 mg/100ml), en polyphénols totaux (79mg/100ml), et présente aussi l'activité antioxydante la plus élevée, suivie des boissons aux fruits tropicaux et à la mangue.

La durée et la température de stockage (25°C et 35°C) affectent significativement les paramètres physico-chimiques des boissons analysées ; durant le premier mois de stockage, une légère diminution du pH, et une augmentation significative de l'acidité sont enregistrées, mais à la fin de la conservation, le pH des boissons analysées augmente et l'acidité diminue. Cependant les teneurs en glucides, en acides aminés libres et en protéines diminuent significativement tout au long de la période de conservation, notamment à 35°C. Les pertes enregistrées ne sont pas importantes, à l'exception de la teneur en glucides des boissons à la carotte et à la mangue conservées à 35°C.

Dans la présente étude, une accumulation de l'hydroxyméthyl furfural (HMF) est notée durant la conservation des boissons aux fruits notamment à 35°C.

Compte tenu des résultats obtenus, les teneurs des boissons en polyphénols totaux, en flavonoïdes, en acide ascorbique et en caroténoïdes, ainsi que les activités antioxydantes sont significativement affectées par la température et la durée de stockage. Globalement, le comportement des différents composés bioactifs est similaire pour les deux températures. D'après l'analyse statistique des résultats, une diminution significative des teneurs en ces composés est observée tout au long de la conservation, ce qui engendre des pertes importantes, notamment pour l'acide

ascorbique (82,38% pour la boisson à la mangue conservée à 35°C), les flavonoïdes (boisson à la mangue), et l'activité antiradicalaire de la boisson à la carotte conservée à 25°C et 35°C. Cependant, une légère perte est enregistrée pour les caroténoïdes durant le stockage.

La plus grande rétention des composés analysés est celle des boissons conservées à 25°C en comparant à celles conservées à 35°C, à l'exception des flavonoïdes des boissons à la carotte, et à la mangue qui montrent une rétention plus élevée à 35°C qu'à 25°C. Ce résultat est peut être dû à la température élevée qui améliore l'extraction de ces composés.

Des corrélations très hautement significatives sont observées entre les antioxydants des boissons aux fruits (l'acide ascorbique, les composés phénoliques et les caroténoïdes) et l'activité antioxydante.

Cette étude confirme l'intérêt de la consommation des boissons aux fruits, qui représentent une source importante de glucides, acide ascorbique, caroténoïdes, polyphénols totaux, ainsi que des teneurs non négligeables en protéines et en acides aminés. Par conséquent ces boissons peuvent être une alternative intéressante des fruits. Puisque la température élevée et le stockage prolongé des boissons aux fruits altèrent significativement les composés bioactifs qu'elles contiennent, donc il est souhaitable de consommer ces boissons directement après leur fabrication, ou les conservées dans des conditions favorables afin de tirer profit de ces composés bioactifs

Dans le but de compléter ce travail, il serait intéressant :

- ◆ D'évaluer la qualité microbiologique de ces boissons durant la conservation ;
- ◆ De suivre le changement de la couleur au cours de stockage ;
- ◆ D'étudier l'influence de l'emballage sur la qualité nutritionnelle des boissons aux fruits ;
- ◆ D'élargir l'échantillonnage pour mieux appuyer nos résultats.

Références

« A »

Abbo E. S., Olurin T. O., et Odeyemi G. 2006. Studies on the storage stability of soursop (*Annona muricata L.*) juice. *African Journal of Biotechnology*. 5 (19): 1808-1812.

Aider M., et de Halleux D. 2008. Production of concentrated cherry and apricot juices by cryoconcentration technology. *LWT - Food Science and Technology*. 41: 1768-1775.

Akhtar S., Riaz M., Ahmad A. et Nisar A. 2010. Physico-chemical, microbiological and sensory stability of chemically preserved mango pulp. *Pakistan Journal of Botany*. 42 (2): 853-862.

Al-Jedah J. H., et Robinson R. K. 2002. Nutritional Value and Microbiological Safety of Fresh Fruit Juices sold through Retail Outlets in Qatar. *Pakistan Journal of Nutrition*. 1 (2): 79-81.

« B »

Babsky N. E., Toribio J. L., et Lozano J. E. 1986. Influence of Storage on the Composition of Clarified Apple Juice Concentrate. *Journal of Food Science*. 51(3): 564-567.

Barba F. J., Esteve M. J., et Frigola A. 2012. High pressure treatment effect on physicochemical and nutritional properties of fluid foods during storage: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 11: 307-322.

Bharate S. S., et Bharate S. B. 2012. Non-enzymatic browning in citrus juice: chemical markers, their detection and ways to improve product quality. *Journal of Food Science and Technology*.

Bhat R., Kamaruddin N. S. B. C., Min-Tze L., et Karim A. A. 2011. Sonication improves kasturi lime (*Citrus microcarpa*) juice quality. *Ultrasonics Sonochemistry*. 18: 1295–1300.

Blaquiere C., Ferrari V., et Girod–Quilain I. 2006. Les arômes alimentaires : les bases de la réglementation européenne. Syndicat National des Industries Aromatiques Alimentaires. (S.N.I.A.A.).

Bosch V., Cilla A., García-Llatas G., Gilabert V., Boix R., et Alegría A. 2013. Kinetics of ascorbic acid degradation in fruit-based infant foods during storage. *Journal of Food Engineering*. 116: 298–303.

Boudra A. 2007. Industrie des boissons et des jus de fruits. Industrie des boissons et des jus de fruits. Edition EDPme. 79-111.

Bourre J. M. 2006. Effects of nutrients (in food) on the structure and function of the nervous system: update on dietary requirements for brain. Part 1: Micronutrients. *The Journal of Nutrition, Health and Aging.* 10 (5): 377-385.

Bradford M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry.* 72: 248-254.

Braesco V., Gauthier T., et Bellisle F. 2013. Jus de fruits et nectars. *Cahier de Nutrition et de Diététique.* Article in press.

Bruno J., et Nicolas M. 2004. L'acide ascorbique et son utilisation en tant qu'additif dans les industries alimentaires. *Licence IUP SIAL.* 1-24.

Buedo A. P., Elustondo M. P., et Urbicain M. J. 2001. Amino acid loss in peach juice concentrate during storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 1: 281-288.

Burdurlu H. S., et Karadeniz F. 2003. Effect of storage on nonenzymatic browning of apple juice concentrates. *Food Chemistry.* 80: 91-97.

Burdurlu H. S., Koca. N., et Karadeniz F. 2006. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *Journal of Food Engineering* 74: 211-216.

« C »

Cao X., Bi X., Huang W., Wu J., Hu X., et Liao X. 2012. Changes of quality of high hydrostatic pressure processed cloudy and clear strawberry juices during storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 16: 181-190.

Chauhan A., et Chauhan V. 2006. Oxidative stress in autism. *Pathophysiology.* 13: 171-181.

Chen H. E., Peng H. Y., et Chen B. H. 1996. Stability of carotenoids and vitamin A during storage of carrot juice. *Food Chemistry.* 57(4): 497-503.

Chen X., Touyz R. M., Park J. B., et Schiffrin E. L. 2001. Antioxidant effects of vitamins C and E are associated with altered activation of vascular NADPH oxidase and superoxide dismutase in stroke-prone SHR. *Hypertension. Journal of the American Heart Association.* 38: 606-611.

Chia S. L., Rosnah S., Noranizan M. A., et Wan Ramli W. D. 2012. The effect of storage on the quality attributes of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurised pineapple juices. *International Food Research Journal.* 19 (3): 1001-1010.

Choi M. H., Kima G. H., et Lee H. S. 2002. Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. *Food Research International*. 35: 753-759.

Cioroi M. 2007. Study on L-ascorbic acid contents from exotic fruits. *Cercetări Agronomice în Moldova*. 1 (129): 23-27.

CODEX STAN 192-1995. Norme générale Codex pour les additifs alimentaires. 1-353.

CODEX STAN 247-2005. Norme générale Codex pour les jus et les nectars de fruits. 1-19.

Commission du Codex Alimentarius. 2005. Rapport de la quatrième session du groupe intergouvernemental spécial du codex sur les jus de fruits et de légumes. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Vingt-huitième session. Rome. 1-51.

Cortés C., Esteve J. M., et Frigola A. 2008. Color of orange juice treated by High Intensity Pulsed Electric Fields during refrigerated storage and comparison with pasteurized juice. *Food Control*. 19: 151–158.

Costa A. S. G., Nunes M. A., Almeida I. M. C., Carvalho M. R., Barroso M. F., Alves R. C., et Oliveira M. B. P. P. 2012. Teas, dietary supplements and fruit juices: A comparative study regarding antioxidant activity and bioactive compounds. *LWT-Food Science and Technology*. 49: 324-328.

« D »

D'Archivio M., Filesi C., Benedetto R. D., Gargiulo R., Giovannini C., et Masella R. 2007. Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanita*. 43(4): 348-361.

Dajanta K., Apichartsrangkoon A., Chukeatirote E., et Frazier R. A. 2011. Free-amino acid profiles of thua nao, a Thai fermented soybean. *Food Chemistry*. 125: 342–347.

Daramola B. 2013. Assessment of some aspects of phytonutrients of cashew apple juice of domestic origin in Nigeria. *African Journal of Food Science*. 7 (6): 107-112.

Del Castillo M. D., Corzo N., Polo M. C., Pueyo E., et Olano A. 1998. Changes in the Amino Acid Composition of Dehydrated Orange Juice during Accelerated Nonenzymatic Browning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46: 277-280.

Devasagayam T. P. A., Tilak J. C., Bloor K. K., Sane K. S., Ghaskadbi S. S., et Lele R. D. 2004. Free Radicals and Antioxidants in Human Health: Current Status and Future Prospects. *Journal of Association of physicians of India*. 52: 749-804.

Djeridane A., Yousfi M., Nadjemi B., Boutassouna D., Stocker P., et Vidal N. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chemistry*. 97: 654-660.

Dohadwala M. M., Holbrook M., Hamburg N. M., Shenouda S. M., Chung W. B., Titas M., Kluge M. A., Wang N, Palmisano J., Milbury P. E., Blumberg J. B., et Vita J. A. 2011. Effects of cranberry juice consumption on vascular function in patients with coronary artery disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 93: 934-40.

Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A., et Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 28 (3): 350-360.

Dumbravă D. G., Hădărugă N. G, Moldovan C., Raba D. N., Popa M. V., et Rădoi B. 2011. Antioxidant activity of some fresh vegetables and fruits juices. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 17(2): 163-168.

Duru N., Karadeniz F., et Erge H. S. 2011. Changes in bioactive compounds, antioxidant activity and HMF formation in rosehip nectars during storage. *Food Bioprocess Technol*.

Dutta D., Chaudhuri U. R., et Chakraborty R. 2005. Structure, health benefits, antioxidant property and processing and storage of carotenoids. *African Journal of Biotechnology*. 4 (13): 1510-1520.

« E »

European Fruit Juice Association. 2012. Market Report. 1-43. www.ajjn.org.

Esteve M. J., Barba F. J., Palop S., et Frígola A. 2009. The Effects of Non-thermal Processing on Carotenoids in Orange Juice. *Czech Journal of Food Sciences*. 27: 304-306.

Esteve M. J., Frígola A., Rodrigo C., et Rodrigo D. 2005. Effect of storage period under variable conditions on the chemical and physical composition and colour of Spanish refrigerated orange juices. *Food and Chemical Toxicology*. 43: 1413-1422.

« F »

Fang Y. Z., Yang S., et Wu G. 2002. Free radicals, antioxidants and nutrition. *Nutrition*. 18: 872-879.

Fang Z., Zhang Y., Lü Y., Ma G, Chen J., Liu D., et Ye X. 2009. Phenolic compounds and antioxidant capacities of bayberry juices. *Food Chemistry*. 113 : 884-888.

Fédération Internationale des producteurs de jus de fruits. 2005. Fruit Juice Nutrition Policy (IFU position paper). www.ifu@ifu-fruitjuice.com.

Floegel A., Kim D. O., Chung S. J., Koo S. I., et Chun O. K. 2011. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*. 24: 1043–1048.

Fратиани A., Cinquanta L., et Panfili G. 2010. Degradation of carotenoids in orange juice during microwave heating. *LWT-Food Science and Technology*. 43: 867–871.

« G »

Gama J. J. T., et Sylos C. M. 2005. Major carotenoid composition of Brazilian Valencia orange juice: Identification and quantification by HPLC. *Food Research International*. 38: 899–903.

Gama J. J. T., et Sylos C. M. 2007. Effect of thermal pasteurization and concentration on carotenoid composition of Brazilian Valencia orange juice. *Food Chemistry*. 100: 1686–1690.

Gardner P. T., White T. A. C., McPhail D. B., et Duthie G. G. 2000. The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. *Food Chemistry*. 68: 471-474.

Ghafar M. F., Prasad K. N., Weng K. K., et Ismail A. 2010. Flavonoid, esperidine, total phenolic contents and antioxidant activities from Citrus species. *African Journal of Biotechnology*. 9(3): 326-330.

Guimarães R., Barros L, Barreira J. C. M., Sousa J. M., Carvalho A. M., et Ferreira I. C. F. R. 2010. Targeting excessive free radicals with peels and juices of citrus fruits: Grapefruit, lemon, lime and orange. *Food and Chemical Toxicology*. 48: 99–106.

« H »

Hacisevki A. 2009. An overview of ascorbic acid biochemistry. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara*. 38 (3): 233-255.

Hamedani M., Rabiei V., Moradi H., Ghanbari A., et Azimi M. R. 2012. Determination of storage duration and temperature effects on fruit quality parameters of blood orange (*Citrus sinensis* cv. Tarocco). *Biharean Biologist*. 6 (1): 10-13.

Haytowitz D. B., Bhagwat S., et Holden J. M. 2013. Sources of variability in the flavonoid content of foods. *Procedia Food Science* 2: 46-51.

Hyson D., Studebaker-Hallman D., Davis P. A., et Gershwin M. E. 2000. Apple juice consumption reduces plasma low-density lipoprotein oxidation in healthy men and women. *Journal of Medicinal Food*. 3 (4): 159-166.

« I »

Iqbal K., Khan A., et Khattak M. M. A. K. 2004. Biological Significance of Ascorbic Acid (Vitamin C) in Human Health—A Review. *Pakistan Journal of Nutrition*. 3 (1): 5-13.

« J »

Jaganath I. B., et Crozier A. 2010. Dietary Flavonoids and Phenolic Compounds. *Plant Phenolics and Human Health: Biochemistry, Nutrition, and Pharmacology*. 1-49.

Jan A., et Masih E. D. 2012. Development and quality evaluation of pineapple juice blend with carrot and orange juice. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2(8): 1-8.

Johnson O. R., Yetu A. J., Oloruntoba A. C. et Samuel S. 2013. Effects of nigerian market storage conditions on ascorbic acid contents of selected tetrapak packaged citrus fruit juice. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*. 8(2): 179-183.

« K »

Kabasakalis V., Siopidou D., et Moshatou E. 2000. Ascorbic acid content of commercial fruit juices and its rate of loss upon storage. *Food Chemistry*. 70: 325-328.

Karadenüz F. 2004. Main organic acid distribution of authentic citrus juices in turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 28: 267-271.

Karaman S., Tutem E., Baskan K. S., et Apak R. 2010. Comparison of total antioxidant capacity and phenolic composition of some apple juices with combined HPLC–CUPRAC assay. *Food Chemistry*. 120: 1201–1209.

Kelebek H., Selli S., Canbas A., et Cabaroglu T. 2009. HPLC determination of organic acids, sugars, phenolic compositions and antioxidant capacity of orange juice and orange wine made from a Turkish cv. Kozan. *Microchemical Journal*. 91: 187–192.

Kim D. O., Jeong S. W., et Lee C. Y. 2003. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chemistry* 81(3): 321-326.

Klein B. P., et Perry A. K. 1982. Ascorbic acid and vitamin A activity in selected vegetables from different geographical areas of the United States. *Journal of Food Science*. 47. 941-948.

Klimczak I., Malecka M., Szlachta M., et Gliszczynska-Swiglo. 2007. Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. *Journal of Food Composition and Analysis*. 20: 313–322.

« L »

Laorko A., Tongchitpakdee S., et Youravong W. 2013. Storage quality of pineapple juice non-thermally pasteurized and clarified by microfiltration. *Journal of Food Engineering*. 116: 554–561.

Lee H. S., et Coates G. A. 1999. Vitamin C in frozen, fresh squeezed, unpasteurized, polyethylene-bottled orange juice: a storage study. *Food Chemistry*. 65: 165-168.

Lee W.C., Yusof S., Hamid N. S. A., et Baharin B. S. 2007. Effects of fining treatment and storage temperature on the quality of clarified banana juice. *LWT*. 40: 1755–1764.

Li H., Guo A., et Wang H. 2008. Mechanisms of oxidative browning of wine. *Food Chemistry*. 108: 1–13.

Li-ying N., Ji-hong W., Xiao-jun L., Fang C., Zheng-fu W., Guang-hua Z., et Xiaosong H. 2008. Physicochemical Characteristics of Orange Juice Samples From Seven Cultivars. *Agricultural Sciences in China*. 7 (1): 41-47.

« M »

Ma T., Tian C., Luo J., Zhou R., Sun X., et Ma J. 2013. Influence of technical processing units on polyphenols and antioxidant capacity of carrot (*Daucus carrot L*) juice. *Food Chemistry*. 141: 1637–1644.

Martín-Diana A. B., Rico D., Barat J. M., et Barry-Ryan C. 2009. Orange juices enriched with chitosan: Optimisation for extending the shelf-life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 10: 590–600.

Marx M., Schieber A., et Carle R. 2000. Quantitative determination of carotene stereoisomers in carrot juices and vitamin supplemented (ATBC) drinks. *Food Chemistry*. 70: 403-408.

Matić J., Sarić B. M., Mandić A., Milovanović I., Pavle T., Jovanov P. T., et Mastilović J. S. 2009. Determination of 5-Hydroxymethylfurfural in apple juice. *Food Processing, Quality and Safety* 1(2): 35-39.

Mau J. L., Tsai S. Y., Tseng Y. H., et Huang S. J. 2005. Antioxidant properties of methanolic extracts from *Ganoderma tsugae*. *Food Chemistry*. 93: 641–649.

McNulty H. P., Byun J., Lockwood S. F., Jacob R. F., et Mason R. P. 2007. Differential effects of carotenoids on lipid peroxidation due to membrane interactions: X-ray diffraction analysis. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1768: 167–174.

Melendez-Martinez A. J., Vicario I. M., et Heredia F. J. 2007. Review: Analysis of carotenoids in orange juice. *Journal of Food Composition and Analysis*. 20: 638–649.

Miller A. L. N. D. 1996. Antioxidant Flavonoids: Structure, Function and Clinical Usage. *Alternative Medicine Review*. 1(2): 103-111.

Morales-de la Peña M., Salvia-Trujillo L., Rojas-Grau M. A., et Martin-Belloso O. 2010. Impact of high intensity pulsed electric field on antioxidant properties and quality parameters of a fruit juice–soymilk beverage in chilled storage. *LWT - Food Science and Technology*. 43: 872–881.

Moufida S., et Marzouk B. 2003. Biochemical characterization of blood orange, sweet orange, lemon, bergamot and bitter orange. *Phytochemistry*. 62: 1283–1289.

Mouly P. P., Gaydou E. M., et Corsetti J. 1999. Determination of the geographical origin of valencia orange juice using carotenoid liquid chromatographic profiles. *Journal of Chromatography A*. 844: 149–159.

« N »

Nour V., Trandafir I., et Ionica M. E. 2010. HPLC organic acid analysis in different citrus juices under reversed phase conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 38 (1): 44-48.

« O »

Odriozola-Serrano I., Garde-Cerdan T., Soliva-Fortuny R., et Martin-Belloso O. 2013. Differences in free amino acid profile of non-thermally treated tomato and strawberry juices. *Journal of Food Composition and Analysis*. Article in press.

Oliver J., et Palou A. 2000. Chromatographic determination of carotenoids in foods. *Journal of Chromatography A*. 881: 543–555.

Oszmiański J., et Wojdyło. 2009. Effects of Blackcurrant and Apple Mash Blending on the Phenolics Contents, Antioxidant Capacity, and Colour of Juices. *Czech Journal of Food Sciences* (5): 338–351.

« P »

Pasha A. R., Butt M. S., et Mohyuddin G. 1994. Quality evaluation of some commercially manufactured fruit beverages. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 31 (3): 208-214.

Pereira D. V., Valentão P., Pereira J. A., et Andrade P. B. 2009. Phenolics: From Chemistry to Biology. *Molecules*. 14: 2202-2211.

Perron N. R., et Brumaghim J. L. 2009. A Review of the Antioxidant Mechanisms of Polyphenol Compounds Related to Iron Binding. *Cell Biochemistry and Biophysics*. 53: 75–100.

Phillips K. M., Tarragó-Trani M. T., Gebhardt S. E., Exler J., Patterson K. Y., Haytowitz D. B., Pehrsson P. R., et Holden J. M. 2010. Stability of vitamin C in frozen raw fruit and vegetable homogenates. *Journal of Food Composition and Analysis*. 23: 253–259.

Piljac-Zegarac J., Valek L., Martinez S., et Belšcak A. 2009. Fluctuations in the phenolic content and antioxidant capacity of dark fruit juices in refrigerated storage. *Food Chemistry*. 113: 394–400.

Picinelli Lobo A. P., Garcia Y. D., Sánchez J. M., Madrera R. R., et Valles B. S. 2009. Phenolic and antioxidant composition of cider. *Journal of Food Composition and Analysis*. 22: 644–648.

Pincemail J., Bonjean K., Cayeux K. et Defraigne J. O. 2002. Mécanismes physiologiques de la défense antioxydante. *Nutrition, Clinique et Métabolisme* 16 : 233-239.

Pincemail J., Defraigne J., Meurisse M., et Limet R. 1998. Anti-oxydants et prévention des maladies cardiovasculaires. 3ème partie: caroténoïdes et vitamine A. *Alimentation et Diététique*.

Plaza L., Sánchez-Moreno C, De Ancos B., Elez-Martínez P., Martín-Belloso O., et Cano M. P. 2011. Carotenoid and flavanone content during refrigerated storage of orange juice processed by high-pressure, pulsed electric fields and low pasteurization. *LWT-Food Science and Technology*. 44: 834-839.

Profir A., et Vizireanu C. 2013. Effect of the preservation processes on the storage stability of juice made from carrot, celery and beetroot. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 19 (1): 99-104.

« R »

Rajasekar D., Akoh C. C., Martino K. G., et MacLean D. D. 2012. Physico-chemical characteristics of juice extracted by blender and mechanical press from pomegranate cultivars grown in Georgia. *Food Chemistry*. 133: 1383–1393.

Ratnam D. V., Ankola D. D., Bhardwaj V., Sahana D. K , et Kumar M. N. V. R. 2006. Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. *Journal of Controlled Release*. 113: 189–207.

Rekha C., Poornima G., Manasa M., Abhipsa V., Pavithra Devi J., Vijay Kumar H. T., et Prashith Kekuda T. P. 2012. Ascorbic Acid, Total Phenol Content and Antioxidant Activity of Fresh Juices of Four Ripe and Unripe Citrus Fruits. *Chemical Science Transactions*. 1 (2): 303-310.

Ribéreau-Gayon P. 1968. Propriétés chimiques des phénols. Applications aux produits naturels. In : « Les composés phénoliques des végétaux ». Ed. DUNOD. 28-57.

Robards K., Prenzler P. D., Tucker G., Swatsitang P., et Glover W. 1999. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*. 66: 401-436.

Rock C. L. 1997. Carotenoids: Biology and Treatment. *Phannicol. Ther.* 75(3): 185-197.

Rodriguez-Amaya D. B., et Kimura M. 2004. HarvestPlus Handbook for Carotenoid Analysis. 2-57. HarvestPlus Technical Monograph Series. 2: 1-58.

Roig M. G., Bello J. F., Rivera Z. S., et Kennedy J. F. 1999. Studies on the occurrence of non-enzymatic browning during storage of citrus juice. *Food Research International*. 32: 609-619.

« S »

Santhirasegaram V., Razali Z., et Somasundram C. 2013. Effects of thermal treatment and sonication on quality attributes of Chokanan mango (*Mangifera indica* L.) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*. 20: 1276–1282.

Sanusi R. A., Ogunro. Y., et Sarah N. 2008. Effect of Storage Time on Ascorbic Acid Content of Some Selected “Made in Nigeria” Fruit Preserves. *Pakistan Journal of Nutrition*. 7 (6): 730-732.

Sanz M. L., Villamiel M., et Martinez-Castro I. 2004. Inositols and carbohydrates in different fresh fruit juices. *Food Chemistry*. 87: 325–328.

Scalbert A., Manach C., Morand C., et Rémésy C. 2005. Dietary Polyphenols and the Prevention of Diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 45: 287–306.

Schieber A., et Carle R. 2005. Occurrence of carotenoid cis-isomers in food: Technological, analytical, and nutritional implications. *Trends in Food Science and Technology*. 16: 416–422.

Sharma S. K., Lal Kauchal B. B., et Sharma P. C. 2004. Effects of temperature and removal of amino acids on non-enzymatic browning of lemon juice concentrates during storage. *Journal of Scientific & Industrial Research*. 63: 444-451.

Shinoda Y., Komura H., Homma S., et Murata M. 2005. Browning of model orange juice solution: factors affecting the formation of decomposition products. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 69 (11): 2129-2137.

Shwartz E., Glazer I., Bar-Ya'akov I., Matityahu I., Bar-Ilan I., Holland D., Amir R. 2009. Changes in chemical constituents during the maturation and ripening of two commercially important pomegranate accessions. *Food Chemistry*. 115: 965-973.

Siah W. M., Faridah H., Rahimah M. Z., Tahir S. M., et Zain D. M. 2011. Effects of packaging materials and storage on total phenolic content and antioxidant activity of *Centella asiatica* drinks. *Agriculture and Journal of Tropical Food Science*. 39 (1): 1-7.

Simsek A., Poyrazoglu E. S., Karacan S., et Velioglu Y. S. 2007. Response surface methodological study on HMF and fluorescent accumulation in red and white grape juices and concentrates. *Food Chemistry*. 101: 987-994.

Sluis A. A. V. D., Dekker M., Skrede G., et Jongen W. M. F. 2004. Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple juice. 2. Effect of Novel Production Methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52: 2840-2848.

Suarez-Jacobo A., Rüfer C. E., Gervilla R., Guamis B., Roig-Sagués A. X., et Saldo J. 2011. Influence of ultra-high pressure homogenisation on antioxidant capacity, polyphenol and vitamin content of clear apple juice. *Food Chemistry*. 127: 447-454.

Suarez-Jacobo A., Saldo J., Rüfer C. E., Guamis B., Roig-Sagués A. X., et Gervilla R. 2012. Aseptically packaged UHPH-treated apple juice: Safety and quality parameters during storage. *Journal of Food Engineering*. 109: 291-300.

« T »

Tasnim F., Anwar H. M., Nusrath S., K. M., Lopa D., et Formuzul H. K. M. 2010. Quality Assessment of Industrially Processed Fruit Juices Available in Dhaka City, Bangladesh. *Malaysian Journal of Nutrition*. 16 (3): 431-438.

Taungbodhitham A. K., Jones G. P., Wahlqvist M. L., et Briggs D. R. 1998. Evaluation of extraction method for the analysis of carotenoids in fruits and vegetables. *Food Chemistry*. 63 (4): 577-584.

Tee E. S., et Lim C. L. 1991. The Analysis of carotenoids and retinoids: A Review. *Food Chemistry*. 41: 147-193.

Tezcan F., Gultekin-Ozguven M., Diken T., Ozcelik B., et Erim F. B. 2009. Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices. *Food Chemistry*. 115: 873-877.

Thaipong k., Boonprakoba U., Crosbyb K., Cisneros-Zevallos L., et Byrne D. H. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19: 669–675.

Tiwari B. K., O' Donnell C. P., Muthukumarappan K., et Cullen P. K. 2009. Ascorbic acid degradation kinetics of sonicated orange juice during storage and comparison with thermally pasteurised juice. *LWT - Food Science and Technology*. 42: 700–704.

« U »

Ulbricht R. J., Northup S. J., et Thomas J. A. 1984. A review of 5-hydroxymethylfurfural (hmf) in parenteral solutions. *Fundamental and Applied Toxicology*. 4: 843-853.

« V »

Velázquez-Estrada R. M., Hernández-Herrero M. M., Rüfer C. E., Guamis-López B., et Roig-Sagués A. X. 2013. Influence of ultra high pressure homogenization processing on bioactive compounds and antioxidant activity of orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 18: 89–94.

Versari A., Parpinello G. P., Mattioli A. U., et Galassi S. 2008. Characterisation of Italian commercial apricot juices by high-performance liquid chromatography analysis and multivariate analysis. *Food Chemistry*. 108: 334–340.

Vieira S. M., Silva T. M., et Glória M. B. A. 2010. Influence of processing on the levels of amines and proline and on the physico-chemical characteristics of concentrated orange juice. *Food Chemistry*. 119: 7–11.

Vierling E. 2008. Aliment et boissons, Filières et produits. *Biosciences et technique*. 3^{ème} édition. Ed. Wolter France. 9-109.

Viuda-Martos M., Ruiz-Navajas Y., Fernández-López J., Sendra E., Sayas Barberá E., Pérez-Álvarez J. A. 2011. Antioxidant properties of pomegranate (*Punicagranatum L.*) bagasses obtained as co-product in the juice extraction. *Food Research International*. 44: 1217–1223.

« W »

Wang H. Y., Hu X. S., Chen F., Wu J. H., Zhang Z. H., Liao X. J., et Wang Z. F. 2006. Kinetic analysis of non-enzymatic browning in carrot juice concentrate during storage. *European Food Research and Technology*. 223: 282–289 .

Wang H. Y., Ni Y. Y., Wang H. Y., Wu J. H., Liao X. J., Chen F., et Wang Z. F. 2007. Kinetics of amino acid loss in carrot juice concentrate during storage. *LWT*. 40: 785–792.

White J. 1979. Spectrophotometric method for hydroxymethyl furfural in honey. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*. 62: 509–514.

Wong S. P., Leong L. P., et Koh J. H. W. 2005. Antioxidant activities of aqueous extracts of selected plants. *Food Chemistry* 99 (4): 775-783.

Wootton-Beard P. C., et Ryan L. 2011. Improving public health?: The role of antioxidant-rich fruit and vegetable beverages. *Food Research International*. 44: 3135–3148.

« X »

Xu G., Liu D., Chen J., Ye X., Maa Y., et Shi J. 2008. Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China. *Food Chemistry*. 106: 545–551.

Xu Y., Zhang R., et Fu H. 2005. Studies on the Optimal Process to Extract Flavonoids from Red-raspberry Fruits. *Nature and Science*. 3 (2): 43-46.

Xu Y.X., Zhang M., Fang Z.X., Sun J.C., et Wang, Y.Q. 2014. How to improve bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) juice flavor quality: Effect of juice processing and storage on volatile compounds. *Food Chemistry*. 151: 40-46.

« Y »

Yemm E. W., et Cocking E. C. 1955. The determination of amino acid with ninhydrin. *Analyst*. 80: 209-214.

« Z »

Zepka L. Q., et Mercadante A. Z. 2009. Degradation compounds of carotenoids formed during heating of a simulated cashew apple juice. *Food Chemistry*. 117: 28–34.

Zhu D., Ji B., Eum H. L., Zude M. 2009. Evaluation of the non-enzymatic browning in thermally processed apple juice by front-face fluorescence spectroscopy. *Food Chemistry*. 113: 272–279.

Zulueta A., Francisco J., Barba M. J., Esteve et Frigola A. 2012. Changes in quality and nutritional parameters during refrigerated storage of an orange juice-milk beverage treated by equivalent thermal and non thermal processes for mild pasteurization. *Food Bioprocess technology*. 6: 2018-2030.



Annexe

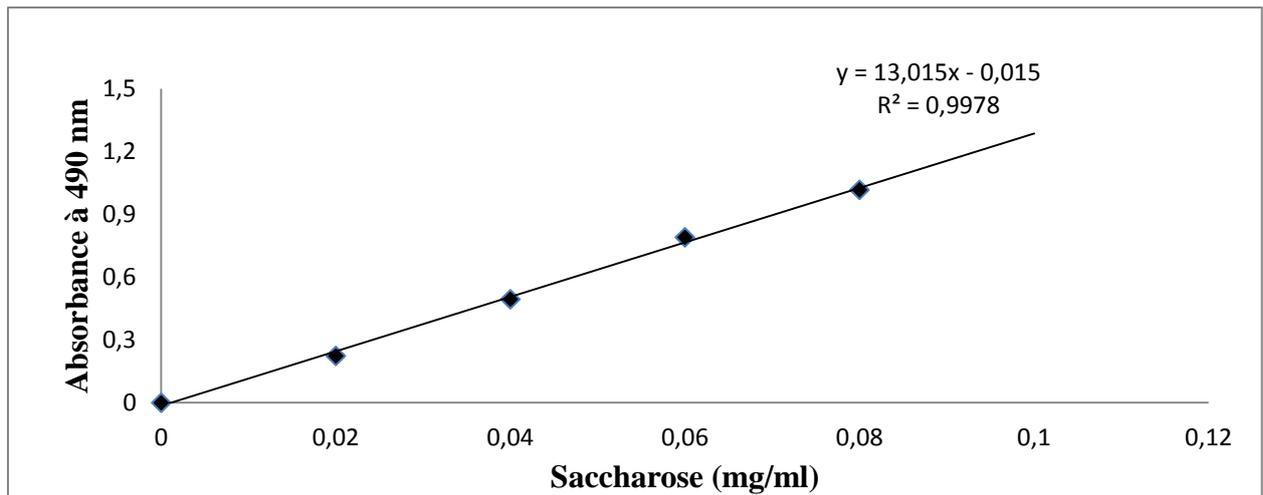


Figure 1: Courbe d'étalonnage de glucides

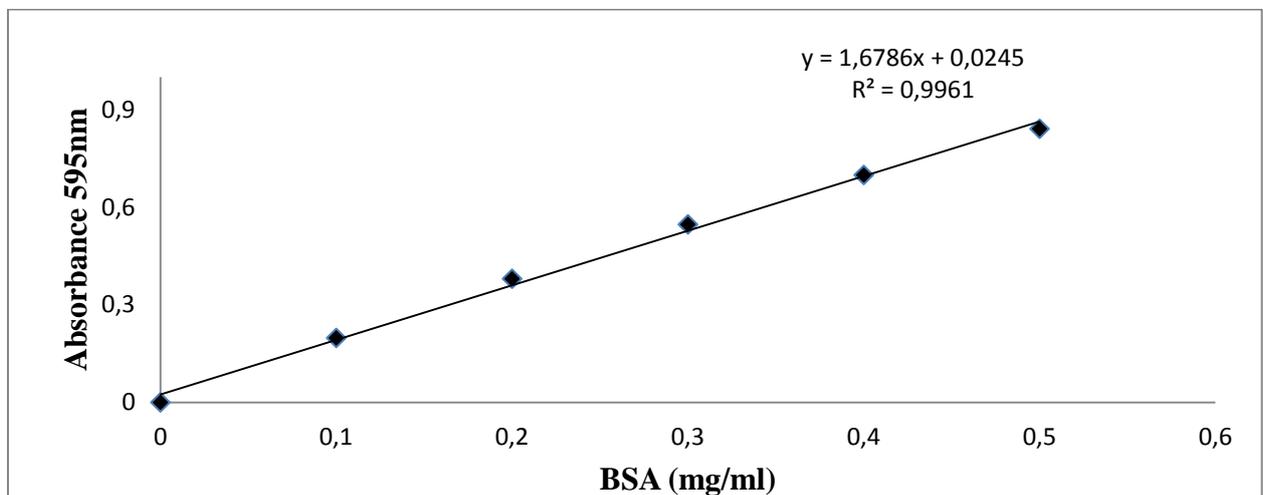


Figure 2: Courbe d'étalonnage des protéines

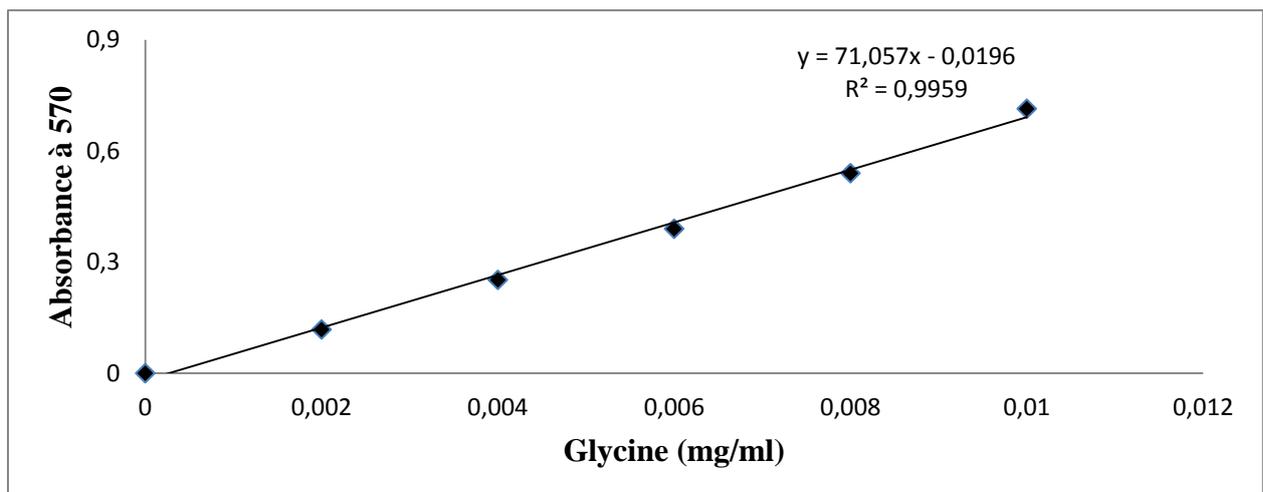


Figure 3 : Courbe d'étalonnage des acides aminés

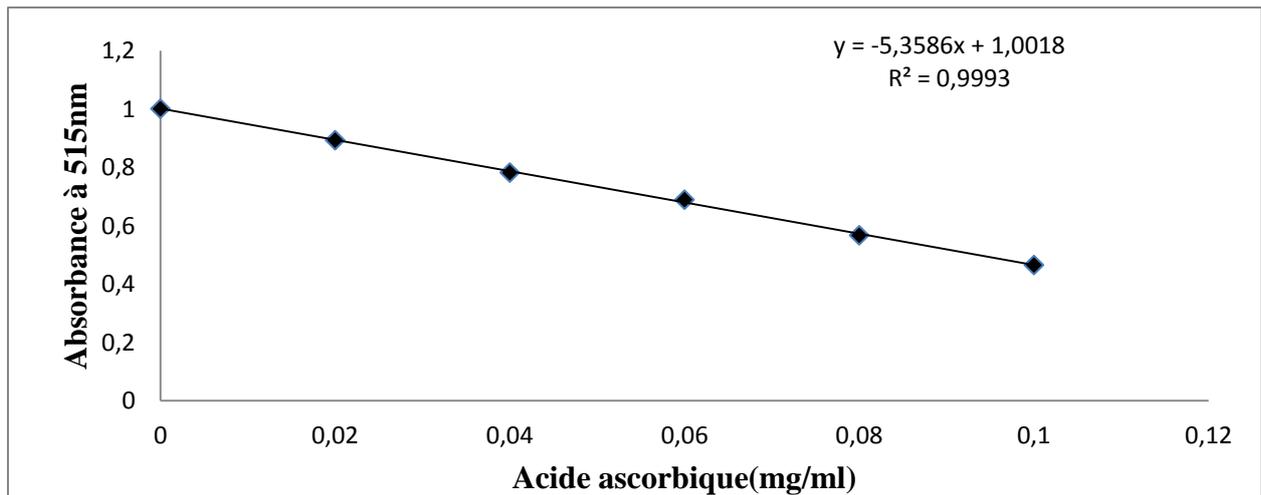


Figure 4: Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique

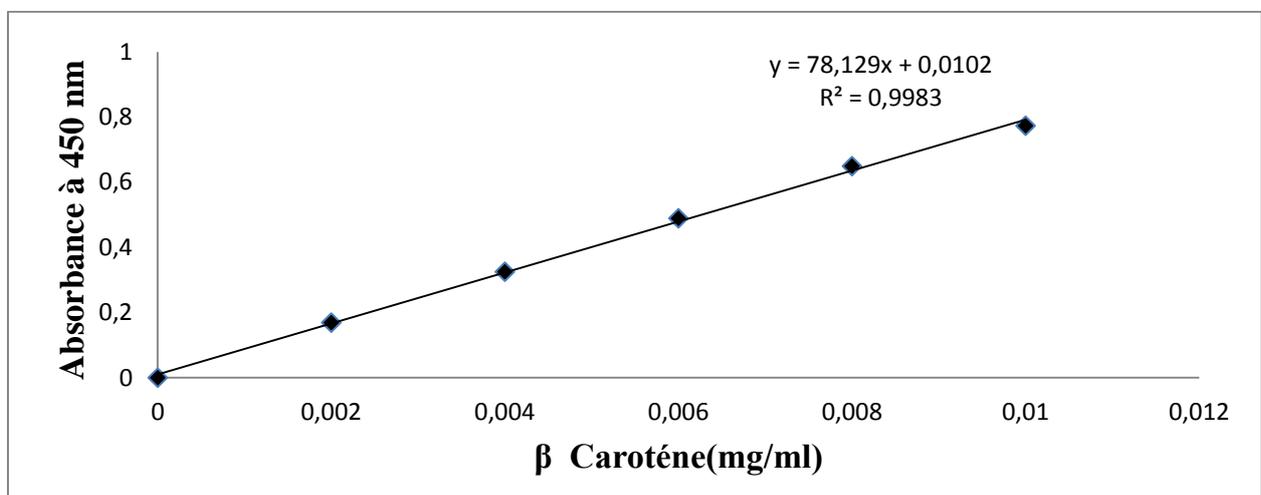


Figure 5 : Courbe d'étalonnage des caroténoïdes

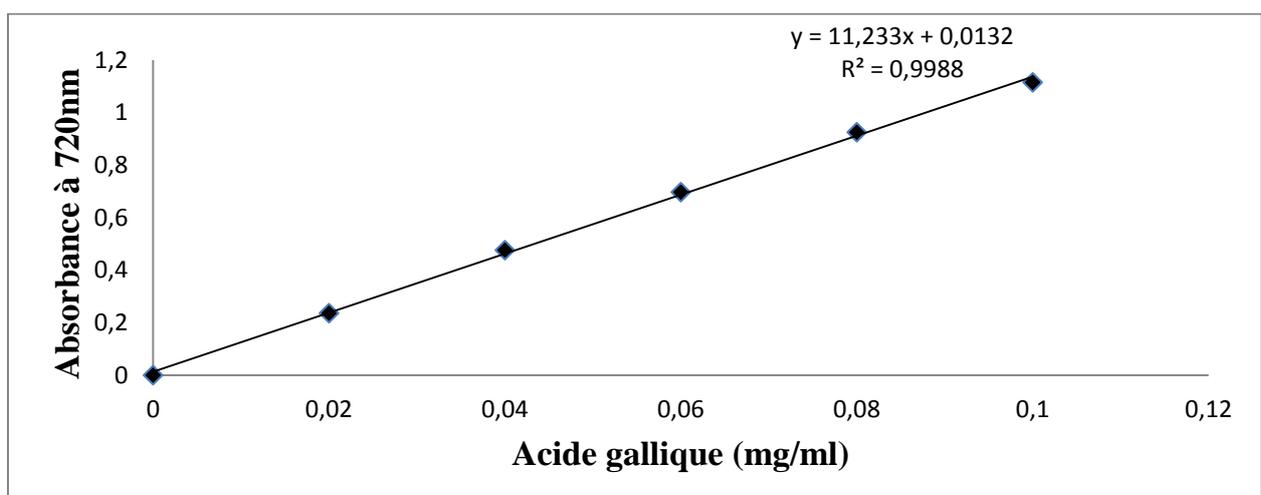


Figure 6: Courbe d'étalonnage des composés phénoliques

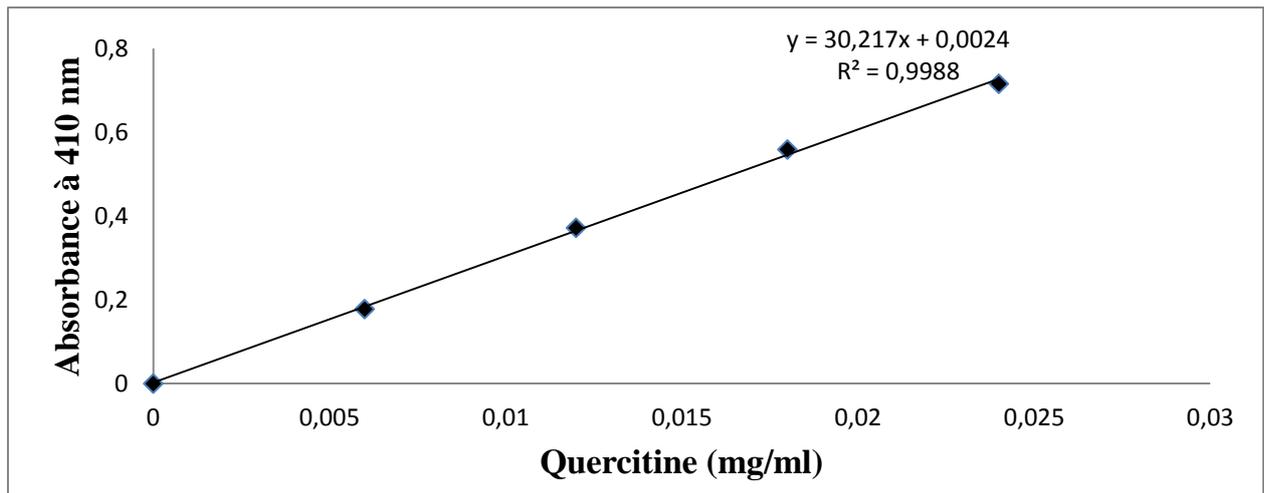


Figure 7: Courbe d'étalonnage des flavonoïdes

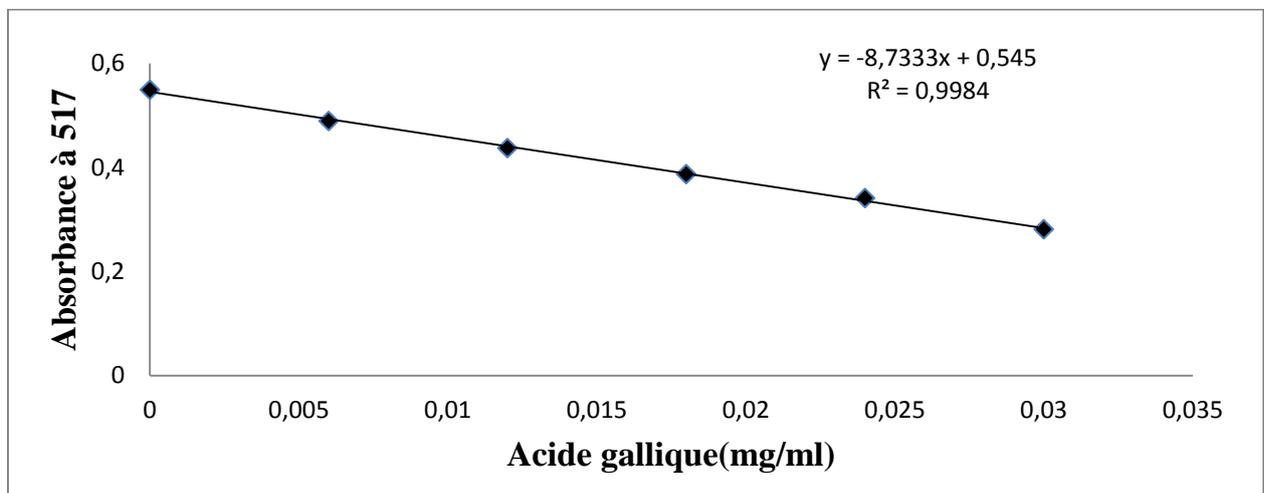


Figure 8 : Courbe d'étalonnage de l'activité anti radicalaire

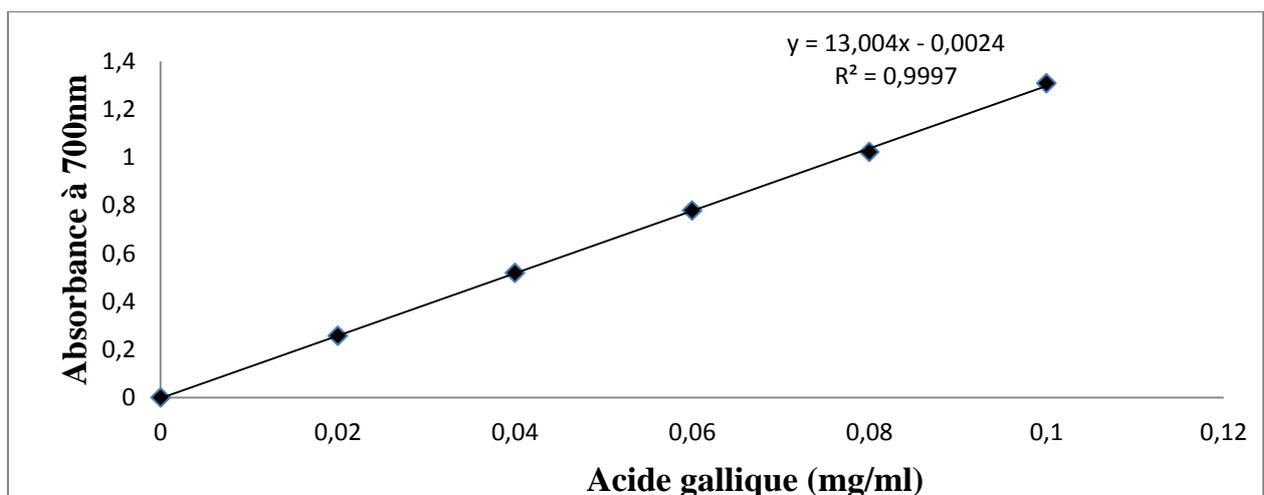


Figure 9 : Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur

Résumé

L'effet de la température et le temps sur les paramètres physico-chimiques, les principaux antioxydants et l'activité antioxydante des boissons aux fruits ; carotte, mangue et boissons aux fruits tropicaux a été évalué. Toutes les analyses ont été effectuées pour ces boissons fraîches et après stockage de 10, 20, 30, 60 et 90 jours à 25°C et 35°C. Il a été observé que l'acide ascorbique de toutes les boissons analysées, et les flavonoïdes de la boisson à la mangue étaient les plus affectés par la température et la durée de stockage, notamment à 35°C. Des taux de perte de 82,38% pour la boisson aux fruits tropicaux et 70,83% pour la boisson à la mangue ont été enregistré, respectivement. La diminution des teneurs en polyphénols, flavonoïdes et l'acide ascorbique des boissons analysées est reflétée par la diminution de l'activité antioxydante, tandis qu'un faible changement des teneurs en caroténoïdes est observé, indiquant la stabilité élevée de ces composés durant le stockage. La température et la durée de stockage affectent significativement les valeurs de pH, Brix, acidité, glucides, protéines, acides aminés des boissons analysées. Les glucides ont été les plus affectés, notamment pour les boissons conservées à 35°C. Les résultats de la présente étude montrent que les boissons aux fruits présentent une source d'énergie, de vitamine et d'antioxydants naturels. Cependant les conditions défavorables de stockage de ces boissons affectent leurs composés bioactifs.

Mots-clés : Boissons aux fruits, paramètres physico-chimiques, antioxydants, activité antioxydante, stockage.

Abstract

The effect of temperature and time on the physico-chemical parameters, major antioxidants, and antioxidant activity of fruit drinks, carrot, mango and tropical fruit drinks is evaluated. All analyzes were carried out for these fresh drinks and after storage for 10, 20, 30, 60 and 90 days at 25°C and 35°C. It has been observed that ascorbic acid of all beverages analyzed and flavonoids of mango drink were most affected by the temperature and storage time, in particular at 35°C. Loss rate of 82.38% for tropical fruit beverages and 70.83% for mango beverages were recorded respectively. The decrease in polyphenols, flavonoids and ascorbic acid contents of the analyzed drinks is reflected by the decrease in antioxidant activity, whereas a small change in carotenoids content is observed, indicating the high stability of these compounds during storage. The temperature and storage time affect significantly the values of pH, Brix, acidity, carbohydrates, proteins, amino acids of the analyzed beverages. Carbohydrates were the most affected, especially for drinks stored at 35°C. The results of this study show that fruit drinks are a source of energy, vitamin and natural antioxidants. However adverse storage conditions of these beverages affect their bioactive compounds.

Keywords: Fruit drinks, physico-chemical parameters, antioxidants, antioxidant activity, storage.

الملخص

تم تقييم تأثير درجة الحرارة والوقت على المقاييس الفيزيائية والكيميائية، ومضادات الأكسدة الرئيسية و نشاط مضادات الأكسدة من مشروبات فواكه الجزر والمانجو ومشروبات الفواكه الاستوائية. أجريت جميع التحاليل لهذه المشروبات طازجة و بعد التخزين لمدة 10 ، 20، 30، 60 و 90 يوماً عند 25 و 35 درجة مئوية. لوحظ أن حمض الاسكوربيك لجميع المشروبات وفلافونيدات مشروب المانجو الأكثر تضرراً من درجة الحرارة و وقت التخزين ، ولا سيما في 35 درجة مئوية. وسجلت نسب الخسائر 82.38 ٪ لمشروب الفواكه الاستوائية و 70.83 ٪ لمشروب المانجو، على التوالي . وينعكس انخفاض كميات مواد البوليفينول ، الفلافونويد و حمض الاسكوربيك بإنخفاض نشاط مضادات الأكسدة ، في حين لوحظ تغير طفيف في الكاروتين ، مما يدل على استقرار عالي لهذه المركبات أثناء التخزين . درجة الحرارة ووقت التخزين تؤثران تأثيراً كبيراً على درجة الحموضة، بركس ، الحموضة ، والكربوهيدرات ، والبروتينات ، والأحماض الأمينية على المشروبات المحللة. الكربوهيدرات كانت الأكثر تضرراً ، لا سيما المشروبات المخزنة في 35 درجة مئوية. نتائج هذه الدراسة تظهر ان مشروبات الفواكه تمثل مصدر للطاقة والفيتامينات و مضادات الأكسدة الطبيعية . ولكن ظروف التخزين السيئة لهذه المشروبات تؤثر على مركباتها البيولوجية.

مفتاح الكلمات: مشروبات الفواكه، المقاييس الفيزيائية والكيميائية، مضادات الأكسدة، النشاط المضاد للأكسدة، التخزين.