



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
جامعة شادلي بن جديد- الطارف

Université Chadli Bendjedid - El Tarf
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

Mémoire présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master II

Spécialité :

Toxicologie Fondamentale et Appliquée

THEME

**Effets de l'exposition aux carburants sur quelques
paramètres indicateurs de la bonne santé chez des
travailleurs de pompes à essence**

Par :

Fradjia Mondher

Devant le jury :

Présidente : Dr. Amoura Mounia MCB. Université C. Bendjedid El Tarf
Promotrice : Dr. Djabali Nacira MCA. Université C. Bendjedid-El Tarf
Examinatrice : Dr. Boukachabia Alima MCB. Université C. Bendjedid-El Tarf

2018- 2019

REMERCIEMENTS

*Au terme de ce travail, je remercie **DIEU** le tout puissant qui m'a donné la force et la volonté pour achever la réalisation de ce travail. DIEU MERCI.*

*J'adresse mes sincères remerciements à ma promotrice **Dr. DJABALI NACIRA**, d'avoir accepté de m'encadrer, pour son suivi, ses conseils importants et pertinents, son soutien et son attention.*

*Je tiens également à remercier les membres de jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance : **Dr. AMOURA MOUNIA** d'avoir accepté la présidence du jury et **Dr. BOUKACHABIA ALIMA** d'avoir accepté d'examiner et évaluer notre travail.*

Je désire également à remercier toute l'équipe de laboratoire central de l'hôpital d'El-Kala et toute l'équipe de laboratoire du centre santé d'El-Aioun pour leur soutien et sympathie.

Enfin, je remercie profondément toutes les personnes et les institutions qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, y compris les travailleurs des pompes à essence, la direction de l'environnement d'El-Tarf, la District Commercialisation NAFTAL d'Annaba...

DEDICASES

*DIEU TOUT PUISSANT MERCI D'ETRE TOUJOURS AU
PRES DE MOI.*

Du profond de mon coeur, Je dédie ce travail

*A la plus belle créature de Dieu, la source de tendresse, de patience et
de générosité : Ma mère Nassima.*

*A mon père **Med-Taher** qui a toujours été à mes côtés, merci pour
votre sacrifices, encouragements et amour.*

*A mes frères adorés **Karim** et **Nadir** qui compte énormément pour
moi.*

*A mes chères sœurs **Sabrina** et **Nawel** pour leurs soutient morale.*

*A tous mes amis **Oussama, Amin, Dia Eddine, Ala, Momen, Ismail,
Razek, Azhar, Amal, Zouhaira, Maroua ...etc.***

*A toutes L'équipe de laboratoire d'analyse; **Mme Assia, Mme Souad,
Mr Amer, Abir,....***

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.....

A tous ceux qui m'aiment.

Sommaire

Liste de tableaux	
Listes de figures	
Résumé	
Introduction	1
Partie bibliographique	3
1. Le Pétrole brut	3
2. Les produits pétroliers	3
2.1. Classification des produits pétroliers	3
2.2. Utilisation des produits pétroliers	3
3. Les hydrocarbures.....	4
3.1. Classification des hydrocarbures	4
3.1.1. Classification selon la nature.....	5
3.1.2. Classification selon la provenance	6
4. Les carburants.....	6
4.1. Production des carburants.....	6
4.2. Différents types de carburants	8
4.2.1. Les biocarburants ou agro-carburants.....	8
4.2.2. Gaz de pétrole liquéfié (GPL)	8
4.2.3. Le gaz naturel véhicule GNV.....	9
4.2.4. Essence	9
4.2.5. Kérosène	9
4.2.6. Gazole.....	9
4.2.7. Fioul domestique.....	9
4.2.8. Fioul lourd	9
4.2.9. Lubrifiants	10
4.2.10. Bitume	10
5. Essence	10
5.1. Différents types d'essence.....	10
5.2. Composition d'essence	11
5.3. Propriétés physicochimiques de l'essence	11

5.4. Utilisation des essences.....	13
6. Benzène.....	13
6.1. Propriétés physicochimiques du benzène.....	13
6.2. Utilisation du benzène	14
7. Risque et dangers des carburants	15
7.1. Voies d'exposition, organes cibles et effet cancérogène	15
7.2. Expositions extérieure et intérieure de la population générale.....	15
7.3. Exposition professionnelle au benzène.....	16
8. Protection	17
Matériels et Méthodes	19
1. Étude épidémiologique (répartition générale de la population des pompistes)	19
1.1. Méthode de récolte de données	20
1.2. Limites de l'étude et difficultés rencontrées.....	20
1.3. Modèle de questionnaire établi	20
2. Étude expérimentale	21
2.1. Paramètres biochimiques du sang	22
2.1.1. Dosage de glucose	22
2.1.2. Dosage de cholestérol (HDL / LDL)	22
2.1.3. Dosage de triglycérides	23
2.1.4. Dosage des protéines plasmatiques	23
2.1.5. Dosage de l'urée	24
2.1.6. Dosage de la créatinine	24
2.1.7. Dosage de l'acide urique	24
2.1.8. Dosage de transaminases (ASAT, ALAT ou TGO TGP).....	25
2.1.9. Dosage de l'activité de la phosphatase alcaline (PAL).....	25
2.1.10. Dosage de Bilirubine totale.....	25
2.1.11. Dosage de la gamma-glutamyl transférase (GGT).....	26
2.2. Paramètres cellulaires.....	26
3. Étude statistique	26
Résultats	27
1. Étude épidémiologique	27

1.1. Répartition des pompistes selon la réponse au questionnaire (déclaration ou non déclaration).....	27
1.2. Répartition des pompistes selon l'âge.....	28
1.3. Répartition des pompistes selon la durée de l'exposition.....	28
1.4. Répartition des pompistes selon le taux de pathologies avant l'exposition aux carburants.....	29
1.5. Répartition des pompistes selon les pathologies pendant et après l'exposition.....	30
1.6. Répartition des pompistes selon le nombre d'enfants	31
1.7. Répartition des pompistes selon l'état de santé de leurs enfants.....	32
1.8. Répartition des maladies dominantes chez les enfants des pompistes.....	33
2. Étude expérimentale	34
2.1. Variations des paramètres biochimiques du sang (Fonctionnement hépatique) entre les témoins et les travailleurs exposés au sein des pompes à essence.....	34
2.2. Variations des paramètres biochimiques du sang (Fonctionnement rénal) entre les témoins et les travailleurs exposés au sein des pompes à essence.....	37
2.3. Variations des paramètres cellulaires du sang entre les témoins et les travailleurs exposés au sein des pompes à essence.....	39
Discussion	42
Conclusion	46
Références bibliographiques	47

Liste de tableaux

N°	Titres	Page
1	Propriétés physico-chimiques des essences	12
2	Propriétés physicochimiques d'essence	12
3	Propriétés physicochimiques de benzène	13
4	Répartition des pompistes selon la réponse au questionnaire	27
5	Répartition des pompistes selon l'âge	28
6	Répartition des pompistes selon la durée de l'exposition	29
7	Répartition des pompistes selon les pathologies avant l'exposition	29
8	Répartition des pompistes selon les pathologies pendant ou après l'exposition	30
9	Répartition des pompistes selon le nombre d'enfants	31
10	Répartition des pompistes selon l'état de santé de leurs enfants	32
11	Répartition des maladies dominantes chez les enfants de ces pompistes	33
12	Variations des paramètres hépatiques entre les témoins et les travailleurs exposés au sein des pompes à essence	34
13	Variations des paramètres rénaux entre les témoins et les travailleurs exposés au sein des pompes à essence	37
14	Variations des paramètres cellulaires du sang entre les témoins et les travailleurs exposés au sein des pompes à essence	39

Liste des figures

N°	Titres	Page
1	Classification générale des hydrocarbures	5
2	Schéma simplifié du procédé de raffinage du pétrole	7
3	Le processus de raffinage du pétrole brut	8
4	Exemple de composition d'une essence européenne	11
5	Répartition des pompistes selon la réponse au questionnaire	27
6	Répartition des pompistes selon l'âge	28
7	Répartition des pompistes selon la durée de l'exposition	29
8	Répartition des pompistes selon les pathologies avant l'exposition	30
9	Répartition des pompistes selon les pathologies pendant ou après l'exposition	31
10	Répartition des pompistes selon le nombre d'enfants	32
11	Répartition des pompistes selon l'état de santé de leurs enfants	32
12	Répartition des maladies dominantes chez les enfants de ces pompistes	33
13	Variation du taux de glucose et triglycérides (g/l)	35
14	Variation du taux de cholestérol (HDL et LDL) (g/l)	35
15	Variation du taux des protéines totales (g/l)	36
16	Variation des valeurs de transaminases (ASAT, ALAT), Phosphate alcaline et GT (UI/l)	36
17	Variation des valeurs de Bilirubine total (mg/l)	37
18	Variation des valeurs d'urée et créatinine (g/l)	38
19	Variation des valeurs d'acide urique (mg/l)	38
20	Variation du taux des globules rouges ($\times 10^6$ /ml)	39
21	Variation des valeurs d'hémoglobine (Hb) (g/dl), globules blancs (GB) ($\times 10^3$ /ml) et plaquettes ($\times 10^3$ /ml)	40
22	Variation du taux de lymphocytes ($\times 10^9$ /l)	41

Résumé

Cette étude s'intéresse à étudier les effets de l'exposition aux carburants chez des travailleurs de pompes à essence (pompistes).

Le travail a été subdivisé en 2 parties :

- Une étude épidémiologique : qui consiste à établir une répartition des pompistes (100 personnes), en se basant sur une enquête, selon la réponse au questionnaire, l'âge, la durée d'exposition, les maladies associées avant, pendant et après l'exposition, le nombre et l'état général de santé des enfants, les maladies dominantes chez les enfants des pompistes.
- Une étude expérimentale : s'agit d'évaluer les variations des paramètres biochimiques et cellulaires du sang chez les travailleurs exposés (18 personnes) comparés aux témoins (18 personnes).

Les résultats obtenus montrent que :

- L'enquête était fiable pour distinguer la prévalence des pompistes dans leur milieu professionnel, dont l'âge moyen des travailleurs exposés aux carburants est compris entre 30 et 50 ans qui pratiquent la profession depuis 5 à 15 ans.
- Le taux de travailleurs sains avant l'exposition est supérieure à celui pendant ou après l'exposition.
- Les pathologies les plus abondantes chez les pompistes pendant ou après l'exposition aux carburants sont les troubles nerveuses avec un taux de 18,67%, suivi par les troubles hématologiques (12,09%).
- Un taux de 5,48% de pompistes n'a pas eu encore d'enfants, et ceux qui ont eu des enfants souffrent davantage d'allergie, d'anémie, de certains cas d'handicap, d'asthme, de perturbations nerveuses, de troubles visuelles et de diabète.
- Plusieurs perturbations métaboliques et cellulaires ont été enregistrées chez les travailleurs exposés aux carburants au sein des pompes à essence comparé aux témoins, qui témoignent l'altération de la fonction hépatique, rénale et hématologique.

Mots clés : Toxicité, Carburants, Benzène, Pompistes, Santé.

Abstract

This study investigates the effects of fuel exposure on gas pump (pump) workers. The work has been subdivided into 2 parts:

- An epidemiological study: which consists in establishing a distribution of the pump workers (100 persons), based on a survey, according to the questionnaire response, the age, the duration of exposure, the associated diseases before, during and after the exposure, the number and general health status of children, the dominant diseases in their children.
- An experimental study: to evaluating the variations of the blood biochemical and cellular parameters in the pump workers (18 persons) compared to the control (18 persons).

The results obtained show that:

- The survey was reliable in distinguishing the prevalence of pump workers in their occupational environment, whose average age of fuel-exposed workers is between 30 and 50 years old who have been practicing the profession for 5 to 15 years.
- The rate of healthy workers before exposure is higher than during or after exposure.
- The most abundant pathologies in pump workers during or after exposure to fuels are nerve disorders with a rate of 18.67%, followed by hematological disorders (12.09%).
- A rate of 5.48% of workers has not yet had children, and those who have children suffer more allergy, anemia, some cases of disability, asthma, nerve disturbances, visual disturbances and diabetes.
- Several metabolic and cellular disturbances have been recorded in workers exposed to fuels in fuel pumps compared to controls, which reflect the alteration of liver, kidney and hematological function.

Key words: Toxicity, Fuels, Benzene, Pump workers, Health.

الملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير التعرض للوقود لدى عمال محطات تعبئة البنزين.

تم تقسيم العمل إلى جزأين :

- دراسة وبائية : تركز على تصنيف العمال (100 شخص) اعتماداً على طرح مجموعة من الأسئلة، و ذلك حسب الإجابة على الأسئلة، السن، مدة التعرض للوقود، الأمراض المسجلة قبل، أثناء و بعد التعرض له، عدد الأطفال، حالتهم الصحية و الأمراض المسجلة لديهم.
- دراسة تجريبية : تعتمد على تقييم التغيرات التي تطرأ على المعايير البيوكيميائية و الخلوية لعينات الدم الخاصة بالعمال (18 شخصاً) مقارنة بالشواهد (18 شخصاً).

النتائج المتحصل عليها تثبت :

- مصداقية التحقيق من أجل معرفة إنتشار العمال في ميدانهم المهني، و الذي نستخلص منه أن متوسط عمر العمال المعرضين للوقود يتراوح بين 30 و 50 سنة و الذين مارسوا المهنة لمدة تتراوح من 5 إلى 15 سنة.
- معدل العمال المعافين قبل التعرض أعلى من معدلهم أثناء أو بعد التعرض للوقود.
- الأمراض الأكثر انتشاراً بين العمال أثناء أو بعد التعرض للوقود هي الأمراض العصبية بنسبة % 18,67 ، تليها الاضطرابات الدموية (% 12,09).
- % 5,48 من العمال لم ينجبوا أطفالاً، أما بالنسبة للذين أنجبوا، يعاني أطفالهم من الحساسية، فقر الدم، بعض حالات الإعاقة، الربو، اضطرابات عصبية، اضطرابات بصرية و مرض السكري.
- العديد من الاضطرابات الأيضية و الخلوية تم تسجيلها لدى العمال المعرضين للوقود على مستوى محطات البنزين مقارنة بالشواهد، ما يبرهن التغيرات التي تطرأ على وظائف الكبد، الكلى و الدم.

الكلمات المفتاحية : تسمم ، الوقود ، البنزين ، عمال الوقود ، الصحة.

Introduction

L'utilisation de pétrole brut est large et variée, il est constitué d'hydrocarbures ; toutes fois le pétrole brut ne peut être utilisé directement comme combustible. L'essentiel de ce pétrole est raffiné, transformé en plusieurs coupes pétrolières telles que les gasoils et les coupes naphthas d'où dérivent les essences automobiles (Guibet, 2011).

Les carburants sont des produits issus du raffinage du pétrole, ils sont souvent liquides et rarement gazeux dont la combustion en présence d'un comburant tel que l'air, fournit de l'énergie mécanique permettant le fonctionnement des moteurs thermiques, qu'ils soient à piston de type essence ou diesel.

Couramment utilisés professionnellement et dans la vie courante, les carburants et combustibles peuvent être, entre autres, à l'origine de pathologies ou de risques d'incendie (INRS, 2006).

La production des essences et des gazoles, à la fois en quantité suffisante pour satisfaire les besoins du marché, et en qualité conformes aux normes, est depuis longtemps un problème principal auquel l'industrie du raffinage doit faire face. Les soucis de préservation de l'environnement et l'évolution constatée dans la consommation des produits pétroliers qui se sont manifestés ces dernières années par le phénomène de mutation du parc automobile (Guibet, 1997).

Près de 37 % des sites sont concernés par des pollutions aux produits pétroliers, la présence de ces hydrocarbures dans les sols et les eaux est parfois préoccupante en raison des conséquences sanitaires, environnementales et économiques qu'elle engendre (Basol, 2013).

Les essences et les gazoles commerciaux ont différentes caractéristiques physiques et chimiques qui déterminent leur comportement et leur qualité (Montagne & Guibet, 2011).

L'essence contient du Benzène dont la toxicité hématologique a été prouvée. Un risque accru de leucémies a été rapporté chez certaines catégories professionnelles exposées aux carburants notamment les pompistes des stations-service. Scientifiquement, le travail sur l'exposition professionnelle au Benzène s'impose comme un impératif du fait de la recrudescence de la distribution des carburants et la multiplication des stations-service. Compte tenu de sa toxicité, l'utilisation du Benzène est aujourd'hui très règlementée et l'exposition

professionnelle fait l'objet d'une surveillance biologique en médecine du travail (Youwa Mountapmbeme, 2015).

La première synthèse du benzène revient au chimiste allemand Eilhard Mitscherlich qui le produit en 1833 par réaction de l'acide benzoïque et de la chaux (Mitscherlich, 1834).

D'après les données disponibles, la cancérogenèse est l'aspect toxique primordial du benzène chez les humains (CSST, 2003). Des expositions professionnelles importantes ont été observées dans les secteurs de la chaussure, du caoutchouc, dans la chimie et l'imprimerie. Intermédiaire de synthèse de nombreux produits de base, il entre aujourd'hui dans la composition de marchandises fabriquées dans des secteurs industriels variés : élastomères, résines, colorants, pesticides, produits pharmaceutiques, détergents, dissolvants (Boust & Lebreton, 2006).

Comme pour la plupart des solvants organiques, le benzène provoque des troubles digestifs et neurologiques, avec en cas d'ingestion, une pneumopathie d'inhalation, le benzène est irritant pour la peau et induit des lésions oculaires superficielles. Les expositions répétées peuvent provoquer des troubles neurologiques (syndrome psycho-organique) et digestifs. La toxicité est avant tout hématologique : thrombopénie, leucopénie, aplasie médullaire mais surtout des hémopathies malignes et des lymphopathies. L'union européenne a classé le benzène cancérogène pour l'homme, des effets génotoxiques sont observés en cas d'exposition professionnelle, des effets sur la fonction de reproduction sont rapportés ; les effets sur la grossesse mal caractérisés en dehors d'une fréquence accrue d'avortements (Javelaud, 2010).

Notre étude représente un travail préliminaire dans la région de l'est de l'Algérie, qui a pour objectifs:

- De compléter les informations disponibles dans la littérature concernant le risque des carburants.
- D'étudier la prévalence des pathologies chez des travailleurs au niveau des stations de pompes à essence.
- D'étudier l'impact de risque de l'exposition aux carburants sur la santé des travailleurs dans le milieu professionnel (population d'étude : les agents pompistes).

1. Le Pétrole brut

Le pétrole brut est une huile minérale constituée d'un mélange d'hydrocarbures d'origine naturelle ; issue de l'accumulation et de la transformation de matière organique; de couleur variant du jaune au noir, d'une densité et d'une viscosité variable (Tecqué & Travers, 2010), il contient également de nombreuses impuretés, en particulier du soufre, mais aussi des traces de métaux (nickel, vanadium), d'azote et d'oxygène (Favenec, 1998).

2. Les produits pétroliers

Regroupent les carburants et solvants organiques produits par raffinage du pétrole, ils sont composés d'hydrocarbures non substitués et leur composition varie suivant la température de distillation des coupes pétrolières, ce qui entraîne des teneurs différentes en hydrocarbures lourds et légers. Ils peuvent être uniquement constitués de chaînes linéaires saturées (hexane ou heptane) ou d'une chaîne cyclique (cyclohexane), mais la grande majorité est constituée d'un mélange complexe d'hydrocarbures (Testud, 1993).

2.1. Classification des produits pétroliers

Les solvants pétroliers peuvent être répartis en deux classes :

- **Les solvants aromatiques** : composés d'un ou plusieurs cycles benzéniques (benzène, toluène, xylènes, etc.) qui présentent un très bon pouvoir solvant.
- **Les solvants pétroliers non aromatiques** : constitués d'hydrocarbures linéaires (aliphatiques) ou cycliques, au pouvoir solvant plus faible (INRS, 2016).

2.2. Utilisation des produits pétroliers

La grande majorité de ces produits est évidemment utilisée comme carburant, comme solvant et diluant (peintures, colles, etc.) ou comme agent de dégraissage (nettoyage de pièces métalliques), mais certains d'entre eux peuvent être aussi utilisés comme intermédiaires de synthèse.

Leurs utilisations en tant que solvant, diluant ou agent de dégraissage sont liées à leur pouvoir solvant qui augmente avec leur teneur en aromatiques (Pilorget *et al.*, 2007).

En 2004, la consommation française de solvants pétroliers pour la formulation de produits solvants était de 156 000 tonnes (38 % de solvants aromatiques et 62 % d'autres solvants pétroliers) (Triolet, 2005).

La matrice emplois-expositions intègre 5 catégories de produits pétroliers, comprenant des produits ayant une utilisation principale en tant que solvant (ex : essences spéciales, white-

spirits), mais également des produits dont l'utilisation principale est autre (carburants). Pour l'élaboration de la matrice, les produits pétroliers ont été regroupés dans les catégories suivant leur composition (teneur en hydrocarbures aromatiques), leur utilisation principale (solvant, carburant) ou suivant leur toxicité (benzène). Ces catégories sont :

- Le benzène ;
- Les essences spéciales et les autres coupes pétrolières non aromatiques ou faiblement aromatiques ;
- L'essence carburant ;
- Les white-spirits et les autres coupes aromatiques légères ;
- Le kérosène, le gazole et les fiouls (Pilorget *et al.*, 2007)

3. Les hydrocarbures

Composé binaire de carbone et d'hydrogène. Les hydrocarbures sont très nombreux ; ils peuvent être gazeux, liquides ou solides ; ils se divisent en séries homologues dans lesquelles chaque terme diffère du précédent par une fonction CH_2 ; ces séries existent sous forme de chaîne ouverte ou de chaîne fermée, de composés saturés ou de composés non saturés. On trouve des hydrocarbures dans le pétrole, dans le gaz naturel, etc. L'étude des hydrocarbures et de leurs dérivés a constitué la base de la chimie organique (Wauquier, 1994).

Sous forme de carbone fossile, ils constituent une ressource énergétique essentielle pour l'économie depuis la révolution industrielle, mais sont aussi source de gaz à effet de serre issus de leur utilisation massive. Il s'agit de ressources non renouvelables (à l'échelle chronologique humaine) dont les gisements commencent localement à s'épuiser ou à être très coûteux et difficiles à exploiter (gisements marins ou très profonds, et souvent de moindre qualité), qu'il s'agisse du charbon, du pétrole ou du gaz naturel (IFPEN, 2010).

3.1. Classification des hydrocarbures

Ils se divisent en plusieurs familles chimiques selon leur structure. Toutes ses structures sont basées sur la tétravalence du carbone, on distingue deux grandes familles présentées dans la Figure1 :

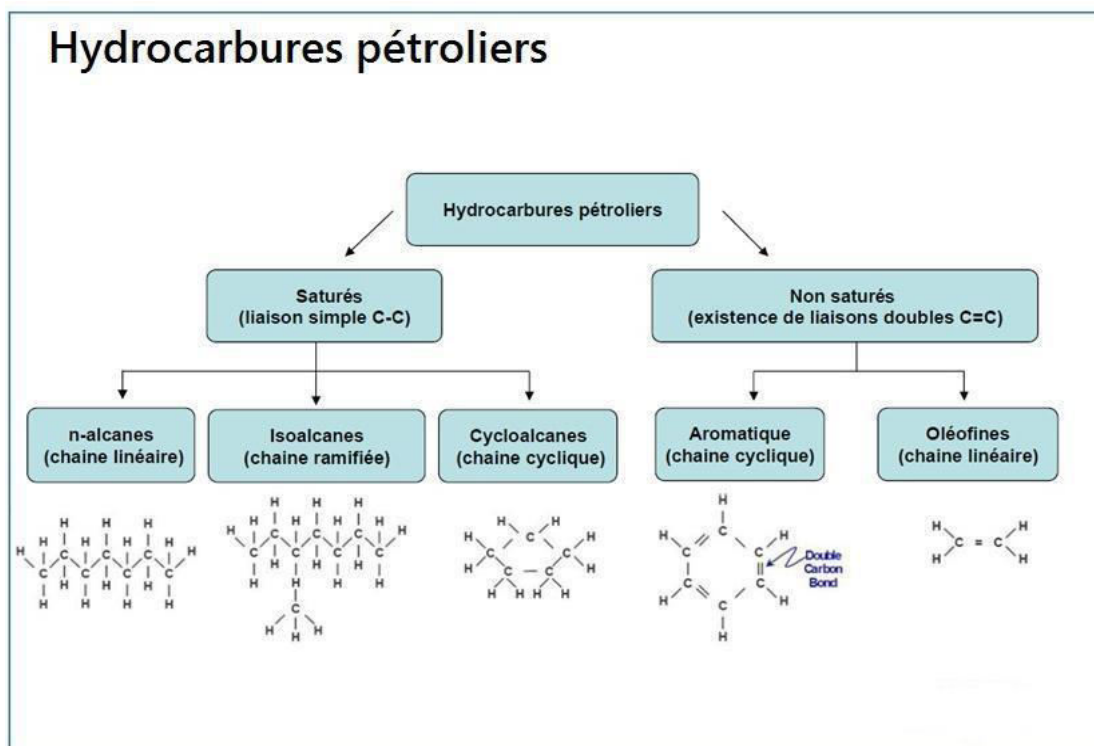


Figure 1. Classification générale des hydrocarbures (Guibet, 2000)

3.1.1. Classification selon la nature

A. les hydrocarbures saturés dont la chaîne carbonée est constituée uniquement de liaisons simples (ex. : les alcanes) : (Vially *et al.*, 2013)

- **Les paraffines linéaires (C_nH_{2n+2})** où les atomes de carbones sont alignés. Elles ont pour principales caractéristiques : un bon indice de cétane, un mauvais indice d'octane, une résistance au froid faible.
- **Les iso-paraffines ou paraffines branchées (C_nH_{2n+2})**, ont un bon indice d'octane.
- **Les naphènes (C_nH_{2n})** où les atomes de carbone forment un cycle (Favenec, 1998).

B. Les hydrocarbures insaturés dont la chaîne carbonée présente au moins une liaison double ou triple (ex. : les alcènes, les alcynes et les hydrocarbures aromatiques) :

- **Les hydrocarbures aromatiques** : de formule générale C_nH_{2n-6} contiennent un ou plusieurs cycles insaturés à 6 atomes de carbone du même type que celui qui constitue le benzène C_6H_6 . Parmi les composés aromatiques très courants, il faut citer : le benzène et le toluène (Emilio, 1999).

Les aromatiques se caractérisent par une densité élevée, un excellent indice d'octane mais un très mauvais indice de cétane, une bonne résistance au froid (Favenec, 1998).

C. Les hydrocarbures acycliques :

- **Les hydrocarbures linéaires** où chaque atome de carbone n'est lié qu'à deux autres atomes de carbones au plus (ex.: allènes).
- **Les hydrocarbures ramifiés** où un ou plusieurs atomes de carbone sont liés à plus de deux autres atomes de carbone (ex. : isooctane)(Vially *et al.*, 2013).

D. Les hydrocarbures cycliques : où la chaîne carbonée se referme sur elle-même :

- **Les hydrocarbures alicycliques** (ex.: cyclohexane)
- **Les hydrocarbures aromatiques** ex : le benzène et le toluène.

3.1.2. Classification selon la provenance (Vially *et al.*, 2013)

A. Les hydrocarbures biogéniques : « frais » (gaz issu de la méthanisation naturelle contemporaine ou industrielle).

B. Les hydrocarbures conventionnels : (pétrole, gaz naturel et charbons tels qu'exploités dans leurs « réservoirs » géologiques jusqu'aux années 2000), de grande qualité pour l'industrie mais se raréfiant car ayant été surexploité.

C. Les hydrocarbures non-conventionnels de roche-mère qui sont des formes de carbone fossile dont les gaz de houille (adsorbé sur du charbon et les hydrocarbures) que sont :

- gaz de houille (CBM, adsorbé sur le charbon ou gaz de couche) ;
- gaz de schiste exploité depuis 2004 essentiellement ;
- pétrole de schiste aussi dit huile de schiste trouvés sous forme de condensat de gaz naturel ;
- schistes bitumineux et sables bitumineux. (Vially *et al.*, 2013)

4. Les carburants

Un carburant est un combustible qui alimente un moteur à combustion interne, fusée, etc. En transformant l'énergie chimique du carburant en énergie mécanique ou en poussée.

La principale caractéristique des carburants est d'avoir une grande densité énergétique, c'est-à-dire qu'ils contiennent beaucoup d'énergie pour une masse ou un volume réduits, ce qui accorde au système motorisé une grande autonomie. Plusieurs produits pétroliers sont utilisés comme carburant dans de nombreux moteurs (INRS, 2016).

4.1. Production des carburants

Les carburants et les produits pétroliers correspondent à des coupes pétrolières obtenues par distillation du pétrole. La plupart des carburants commercialisés sont des mélanges obtenus par séparations physiques du pétrole brut (craquage, distillation et fractionnement) et

caractérisés par une plage de températures de distillation (Figure 2 et 3). Cependant, deux produits de mêmes caractéristiques peuvent avoir des compositions différentes selon la provenance du pétrole brut utilisé et les étapes de raffinage qui peuvent varier selon les fournisseurs (INRS, 2011).

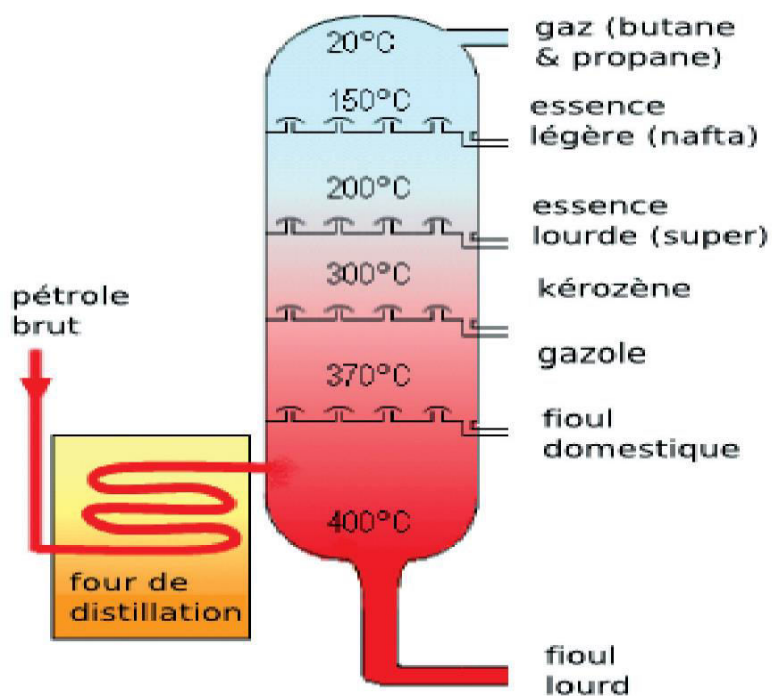


Figure 2. Schéma simplifié du procédé de raffinage du pétrole(Wauquier, 1994).

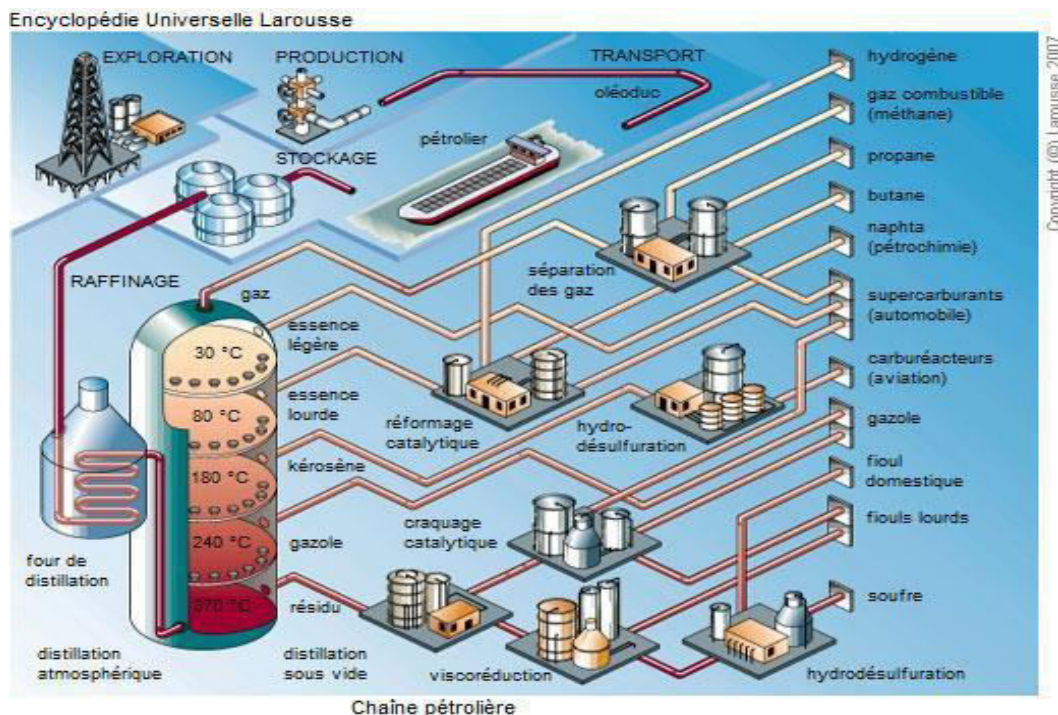


Figure 3. Le processus de raffinage du pétrole brut (Stellman, 2002)

4.2. Différents types de carburants

4.2.1. Les biocarburants ou agro-carburants

Les biocarburants sont des carburants d'origine végétale ou animale issus de la biomasse, ils semblent être source d'énergie "plus verte" (plus propre) et sont des combustibles alternatifs pouvant remplacer potentiellement les combustibles fossiles (Selim, 2003).

Les biocarburants sont beaucoup moins polluants que les dérivés du pétrole, leur utilisation est particulièrement intéressante du point de vue de la production de CO₂ et de l'effet de serre qu'il implique. Le carbone des biocarburants provient de l'atmosphère et ne fait que retourner d'où il vient lors de sa combustion alors que les carburants fossiles libèrent dans l'atmosphère du carbone initialement stocké sous terre (Selim, 2003).

Le problème d'employer les huiles végétales dans les moteurs diesel se trouve dans leur viscosité élevée qui pose un problème pour l'acheminement du carburant jusqu'à l'orifice de l'injecteur (Silvio de Almeida, 2002).

4.2.2. Gaz de pétrole liquéfié (GPL)

Le GPL figure le propane et le butane ou un mélange de ces deux hydrocarbures, stocké à l'état liquide sous faible pression et utilisé, soit à l'état gazeux, après détente à pression atmosphérique, soit à l'état liquide via un système d'injection adapté. Il provient à la fois d'opérations de purification du gaz naturel effectuées lors de son extraction et de différentes

unités de raffinage du pétrole brut. Il est principalement employé comme combustible domestique ou industriel, mais il constitue aussi une classe de carburant intéressant en raison de son caractère peu polluant (Montagne & Guibet, 2011).

4.2.3. Le gaz naturel véhicule GNV

Le GNV est essentiellement du méthane réduit à l'état liquide, son faible contenu en carbone permet des réductions d'émissions de gaz à effet de serre supérieures à 20 % par rapport à l'essence, tout comme pour le GPL, il permet d'atteindre de bons rendements énergétiques pour un véhicule dédié (Cheikh Mansour, 2001).

4.2.4. Essence

L'essence est un mélange de plus de 200 composés. Les composés les plus volatiles et les plus abondants (n-butane, isobutane, n-pentane, isopentane) sont prédominants dans les vapeurs, représentant 60 à 80 % des vapeurs totales, mais seulement environ 25 % du liquide.

4.2.5. Kérosène

Le kérosène est essentiellement destiné à l'alimentation des avions à réaction. Il est donc composé d'un mélange d'hydrocarbures distillant entre 140 et 300 °C, dont les principaux constituants sont des hydrocarbures de C9 à C16 (paraffiniques, iso-paraffiniques, naphthéniques et aromatiques)(Montagne, 2011).

4.2.6. Gazole

Le gazole est une huile lourde composée d'un mélange d'hydrocarbures (paraffiniques, naphthéniques, aromatiques et oléfiniques). Il est utilisé comme carburant dans les moteurs diesel, dont la température de distillation se situe entre 200 et 380°C, leur point d'éclair est toujours supérieur à 50 et leur densité supérieure à 0,82 (Publications UN, 2002).

4.2.7. Fioul domestique

Le fioul domestique est un combustible généralement utilisé dans les chaudières, il est constitué d'un mélange d'hydrocarbures de C9 à C20 avec un point d'ébullition compris entre 163 et 357 °C. Le fioul domestique fait partie des fiouls légers et à une composition très proche du gazole (Pilorget *et al.*, 2007).

4.2.8. Fioul lourd

Le fioul lourd est un produit issu de diverses fractions de raffinerie, en général les plus lourdes. Leur composition est complexe et variée selon la provenance du pétrole brut. Le fioul

lourd est constitué de produits d'origine paraffinique, naphthénique et aromatique. Il peut contenir des dérivés de soufre et des acides organiques. Les fiouls lourds sont classés selon leur teneur en soufre (Pilorget *et al.*,2007).

4.2.9. Lubrifiants

Les lubrifiants réduisent les frottements et l'usure des pièces mobiles des moteurs et des machines. Ils sont constitués d'un mélange d'hydrocarbures liquides et visqueux, riches en paraffines, dont les températures de distillation se situent entre 380 et 500°C et qui sont obtenus par distillation sous vide des résidus de la distillation atmosphérique du pétrole. Ils figurent plusieurs types d'huiles comme les huiles blanches, les huiles isolantes et les graisses lubrifiantes (Mazouzi *et al.*, 2014).

4.2.10. Bitume

Le bitume est un mélange d'hydrocarbures solide ou visqueux de couleur brune ou noire, obtenu comme résidu de la distillation sous vide des résidus de la distillation atmosphérique du pétrole. Il est utilisé principalement pour la construction des routes (Garnier, 2000).

5. Essence

L'essence auto est une huile légère d'hydrocarbure utilisée comme carburant dans les moteurs à allumage commandé. Sa température de distillation se situe entre 35 et 200°C, cette huile est traitée de manière à atteindre un indice d'octane élevé, généralement entre 80 et 100 IOR. Ce traitement peut s'effectuer par reformage, craquage catalytique et mélange avec une fraction aromatique (Drolet & Beauchamp, 2012).

5.1. Différents types d'essence

Essence ordinaire

Essence ordinaire est composée essentiellement d'un mélange d'hydrocarbures de structures variées (paraffiniques, oléfiniques, naphthéniques, aromatiques (~ 4 % de benzène)) distillant à moins de 205 °C, auquel est ajouté entre autres un dope antidétonant à base de plomb. L'efficacité de la combustion est caractérisée par l'indice d'octane situe entre 89 et 92 (Pilorget *et al.*,2007).

Le super

Le super est de même nature que l'essence ordinaire, mais obtenu par un procédé de raffinage spécial afin d'améliorer l'indice d'octane qui est de 97 à 99. Sa composition diffère de l'essence par : la teneur en benzène plus élevée (4 à 6 %) due à la diminution du taux de plomb ; la teneur en soufre plus élevée (0,5 %) (Pilorget *et al.*,2007).

Le super sans plomb

Le super sans plomb a totalement supplanté le super avec plomb. Les additifs utilisés sont le MTBE (méthyltertiobutyléther), additif le plus employé, et le benzène, ajouté en vue d'améliorer l'indice d'octane (Pilorget *et al.*, 2007).

5.2. Composition d'essence

Les essences contiennent généralement environ 230 hydrocarbures différents qui comprennent entre 4 et 10 atomes de carbone. Les essences sont composées de 5 classes principales d'hydrocarbures : les n-alcanes, les isoalcanes, les cycloalcanes, les alcènes et les aromatiques. Les aromatiques sont majoritairement présents (Colombano, 2009).

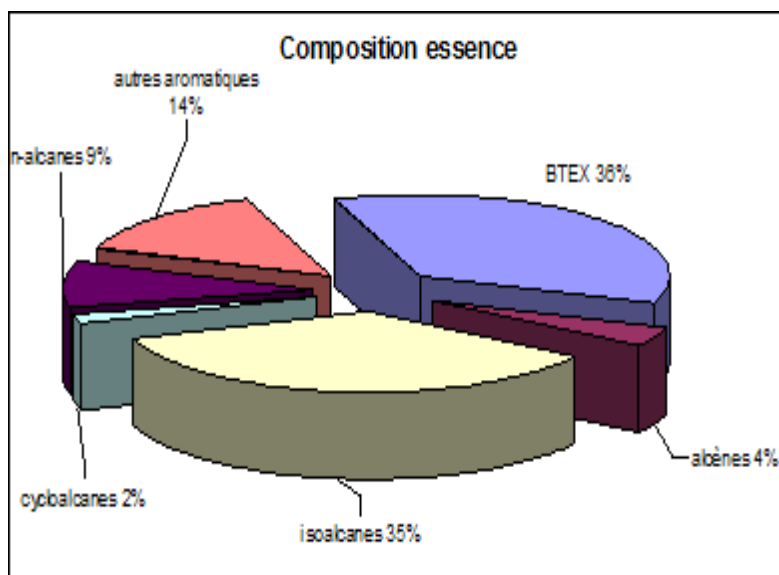


Figure 4. Exemple de composition d'une essence européenne (Marchal *et al.*, 2003).

L'essence contient aussi des composés oxygénés (des éthers ou des alcools) en proportion significative. Ces composés permettent d'améliorer certaines caractéristiques des essences comme l'augmentation de l'indice d'octane. Des réglementations nationales limitent toutefois les teneurs de ces composés dans les essences. À titre d'exemple, les réglementations françaises autorisent une teneur de 85 % d'éthanol dans l'essence (Colombano, 2009).

5.3. Propriétés physicochimiques de l'essence

L'essence se présente sous une couleur jaune très pâle voire transparente. Elle est par ailleurs fortement odorante, facilement inflammable et très volatile (Colombano, 2009).

Les propriétés physiques et chimiques des essences sont répertoriées dans le tableau suivant (Tableau 1,2).

Tableau 1. Propriétés physico-chimiques des essences (Colombano *et al.*, 2014)

Température de fusion	Température de vaporisation	Solubilité dans l'eau	Masse volumique à 15 °C	Température d'auto-inflammation	Limites d'explosivité dans l'air	Pression de vapeur saturante
< -60 °C	25 à 220 °C	De 100 à 250 mg/l	De 680 à 790 kg/m ³	450 °C	Inférieure: 1,4 % Supérieure: 7,6 % vol	De 350 à 900 hpa

Tableau 2. Propriétés physicochimiques d'essence (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2001)

État physique	Liquide
Masse moléculaire	108,00
Densité	0,75 g/ml à 20 °C
Densité de vapeur (air=1)	3,72
Point de fusion	-92,00 °C
Point d'ébullition	> 39,00 °C
Tension de vapeur	< 465 mm de hg (62,0 kpa) à 20 °C
Concentration à saturation	< 612 000 ppm
Limite de détection olfactive	0,25 ppm
Facteur de conversion (ppm->mg/m ³)	4,417
Taux d'évaporation (éther=1)	2,5

5.4. Utilisation des essences

L'essence est utilisée comme :

- Carburant dans les moteurs thermiques ou moteurs à explosion à allumage commandé
- Parfois ajoutés d'autres produits combustibles ou adjuvants (Colombano, 2009).

6. Benzène

C'est un hydrocarbure aromatique monocyclique de formule chimique C_6H_6 provenant de la combustion incomplète de composés riches en carbone. À température ambiante, le benzène se présente sous la forme d'un liquide incolore à l'odeur douce et sucrée. On le produit aujourd'hui en grande quantité en raffinant industriellement du pétrole afin de l'utiliser comme matière première dans la fabrication de substances chimiques. Ce toxique volatil résulte aussi d'activités de combustion (gaz d'échappement du transport routier, tabagisme, chauffage au bois, utilisation de bougies, d'encens, etc) et le transport routier. Sa tendance à s'évaporer favorise son émission par des produits et matériaux dont il est un composant, parfois sous forme d'impuretés : essence, matériaux de construction (Chaiklieng *et al.*, 2015).

6.1. Propriétés physicochimiques du benzène

Le benzène est un liquide incolore, d'odeur aromatique, perceptible à l'odorat à des concentrations de l'ordre de 5 ppm. Il renferme moins de 0,1 % d'impuretés :

Toluène (0,015 %), composés non aromatiques (0,04 %) ; méthylcyclohexane + toluène représentent 0,02 %. Il est pratiquement insoluble dans l'eau (0,180 g pour 100 g à 25 °C). Il est miscible à la plupart des solvants organiques.

Il forme des mélanges azéotropiques avec l'eau (91,17 %p de benzène, point d'ébullition 69,25 °C), des alcools et des hydrocarbures.

C'est un excellent solvant pour un grand nombre de substances naturelles ou de synthèse (huiles, graisses, résines.)(Kirk Othmer, 1992).

Tableau 3. Propriétés physicochimiques de benzène (INRS, 2011)

Benzène	
Formule	C_6H_6
N° CAS	71-43-2
Etat Physique	Liquide
Masse molaire	78,11
Point de fusion	5,5 °C

Point d'ébullition	80,1 °C
Densité	0,879
Densité gaz / vapeur	2,7
Pression de vapeur	9,97 kpa à 20 °C 12,6 kpa à 25 °C
Indice d'évaporation	3 (oxyde de diéthyle = 1)
Point d'éclair	-11 °C (coupelle fermée)
Température d'autoinflammation	555 °C (538°C à 580°C selon les sources)
Limites d'explosivité ou d'inflammabilité (en volume % dans l'air)	Limite inférieure : 1,2 % Limite supérieure : 8,0 %
Coefficient de partage noctanol / eau (log Pow)	2,13

6.2. Utilisation du benzène

Le benzène est une des molécules qui sont à la base de la chimie organique. C'est donc un intermédiaire pour une très grande gamme de produits organiques de base.

Le benzène est utilisé pour produire de nombreux produits chimiques, principalement le styrène via l'éthylbenzène (50 % du benzène utilisé), le cumène (dont dérive le phénol) (21 %), le cyclohexane (13 %), le nitrobenzène, des nitrophénols, les alkylbenzènes, l'anhydride maléique et les chlorobenzènes (Commission européenne, 2002)

Ces produits donnent lieu à leur tour à la production d'une vaste gamme de produits de très grande diffusion : des polymères et caoutchoucs, des détergents, parfums, colorants, additifs alimentaires, des solvants, des pesticides, des explosifs, des plastifiants, des médicaments. Dans le domaine de la pharmacie, le benzène reste utilisé comme solvant et réactif pour des productions spécifiques, mais cet usage semble ne concerner que peu de sites en France.

Le benzène est utilisé comme additif dans l'essence sans plomb à une concentration inférieure à 1 % (Commission européenne, 2002).

7. Risque et dangers des carburants

7.1. Voies d'exposition, organes cibles et effet cancérigène

L'inhalation est la voie principale d'exposition au benzène : on estime que 90% de l'exposition en résulte. On évalue à 50% l'absorption du benzène par inhalation ; il est ensuite rapidement distribué dans le corps. Le benzène peut également être absorbé rapidement par voie digestive. La voie cutanée est une source secondaire d'exposition qui concerne surtout le milieu professionnel (HCSP, 2010).

La cible du benzène est le système hématopoïétique : moelle osseuse, tissu lymphoïde, production de globules rouges, de globules blancs, de plaquettes.... L'exposition au benzène peut entraîner des effets aigus et chroniques (c'est-à-dire qui persistent dans le temps), cancérigènes ou non. L'atteinte de la moelle osseuse constitue le premier signe d'une toxicité chronique susceptible d'évoluer vers une leucémie.

Les propriétés cancérigènes du benzène sont connues depuis longtemps. Le CIRC (Centre international de recherche sur le cancer) le classe parmi les cancérigènes avérés pour l'homme (groupe 1) sur la base de leucémies observées dans des études épidémiologiques et animales. Le niveau de preuve est estimé suffisant pour deux formes de leucémies à évolution rapide : la leucémie myéloïde aigüe et la leucémie aigüe non lymphocytaire (Henderson, 2001).

Il est par contre limité pour le myélome et le lymphome malin, le rôle du benzène dans le cancer de la thyroïde est débattu du fait d'études ayant montré des résultats positifs dans le secteur de la pétrochimie (AFSSET, 2009).

7.2. Expositions extérieure et intérieure de la population générale

Le benzène est présent à la fois dans l'air extérieur et l'air des lieux clos.

Milieu extérieur

Dans l'air extérieur, ce sont les secteurs résidentiel et tertiaire qui en sont la source d'émission principale (74,7% en 2008), en particulier du fait de la combustion du bois. Le transport routier constitue le second contributeur aux émissions dans l'air ambiant (15,2%). À noter également la présence de benzène à proximité des stations-service. Lors de sa campagne nationale de mesure de la qualité de l'air intérieur dans un échantillon de logements représentatif du parc des logements français (2003-2005), l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a mesuré les concentrations en benzène dans l'air extérieur auprès de 517

logements. La médiane des concentrations en benzène était inférieure à la limite de quantification égale à 1,1 µg/m³ (INRS, 2016).

Milieu intérieur

La pollution intérieure contribuerait de manière importante à l'exposition de la population au benzène, du fait du temps passé par la population dans les bâtiments. Une étude réalisée en 2000/2001 auprès d'une centaine d'adultes franciliens travaillant dans le secteur tertiaire à Paris a ainsi attribué l'exposition (par inhalation) au benzène de cette population à 50% au domicile, 32% au lieu de travail et 18% aux déplacements domicile/travail (Albinet *et al.*, 2007).

Dans les lieux clos, le benzène résulte cependant à la fois des sources intérieures et du transfert de la pollution atmosphérique notable dans les agglomérations et zones industrielles. Les niveaux de pollution intérieure seront ainsi d'autant plus élevés que le bâtiment sera proche du trafic routier, de raffineries de pétrole ou d'usines utilisant du benzène.

Les sources propres aux lieux clos sont variées : les combustions domestiques telles que le tabagisme, la cuisson des aliments, le chauffage des locaux hors chauffage électrique, ou l'utilisation de bougies et d'encens; divers produits (matériaux de construction et d'ameublement, produits de bricolage et d'entretien) présents dans l'environnement intérieur sont également susceptibles de contenir du benzène, en dépit de son classement en CMR1 et des limitations de son usage dans les produits d'entretien et les matériaux mobiliers et de construction. On ne peut pas exclure qu'il soit totalement écarté des processus de production, stockage et transport de ces matériaux. Le benzène fait en effet partie de ces composés organiques volatils (COV) qui s'évaporent à température ambiante et contaminent l'air. (AFSSET, 2009).

7.3. Exposition professionnelle au benzène

Il existe de nombreuses maladies dues à l'exposition au benzène qui sont reconnues en tant que maladies professionnelles. Cette fiche s'intéresse exclusivement aux cancers liés à une exposition professionnelle au benzène.

Métiers à risque et recommandations

D'après l'enquête SUMER 2003 réalisée à l'initiative du ministère de l'emploi, 0,3% des salariés étaient exposés au benzène (hors exposition professionnelle aux carburants) en 2003 (DARES, 2006).

Les principaux secteurs concernés sont :

La fabrication, le transport et l'utilisation du benzène dans l'industrie pétrolière, chimique et pétrochimique ;

L'utilisation du benzène pur dans les laboratoires ;

L'élaboration, le transport, la distribution et l'utilisation des carburants automobiles (mécaniciens automobiles, pompistes, chauffeurs, livreurs, etc) ;

L'exposition des bûcherons et des ouvriers sylviculteurs a été estimée très modérée, le tabagisme apparaissant comme facteur confondant (Burstyn *et al.*, 2002).

Cancers professionnels liés au benzène

Plusieurs études ont mis en évidence une association entre exposition professionnelle au benzène et l'apparition de leucémies : les employés ayant été exposés au benzène présentent un risque augmenté de développer une leucémie myéloïde aigüe ou une leucémie lymphoïde chronique (Khalade *et al.*, 2010).

Entre 5 et 18% des cas de leucémies seraient dues à une exposition professionnelle (INC, 2010).

La sécurité sociale reconnaît les leucémies aiguës myéloblastiques et lymphoblastiques (à l'exclusion des leucémies aiguës avec des antécédents d'hémopathies) et les syndromes myéloprolifératifs en tant que maladie professionnelle si le travailleur a été exposé pendant au moins 6 mois.

Au sujet des doses d'exposition, l'INRS pointe le pouvoir leucémogène (c'est-à-dire sa capacité à induire des leucémies) du benzène pour des expositions « extrêmement variables » (1 à 100 ppm). Une relation dose-effet entre l'importance de l'exposition (ppm/mois) et l'incidence des leucémies a été mise en évidence, mais cette relation reste imprécise et une dose-seuil éventuelle n'a pas pu être définie (INRS, 2007).

8. Protection

L'utilisation des carburants et combustibles à des fins autres que celles prévues par le fournisseur doit être interdite. Il s'agit de proscrire, entre autres, le lavage des mains à l'essence, l'utilisation de chiffons imbibés dans les garages, le nettoyage au gazole d'outils de travaux publics, le dégraissage manuel à l'essence de pièces mécaniques...

L'utilisation des carburants et combustibles doit se faire, autant que possible, en circuit fermé afin d'éviter tout risque de contact cutané ou toute émission de vapeurs dans l'atmosphère. Les locaux doivent être correctement ventilés (ventilation générale).

En cas de projections possibles (fuite de liquide, ouverture d'un circuit, déconnexion de flexibles...) ou de manipulations de combustibles ou de carburants, l'opérateur devra porter une protection oculaire et cutanée: lunettes de protection, masque facial ou lunette masque, vêtements de protection, gants de protection adaptés et résistants aux hydrocarbures (gants épais, à manchette, en caoutchouc nitrile ou en polymère fluoré, par exemple) (INRS,2006).

Matériels et Méthodes

Notre travail est subdivisé en deux parties :

1. Étude épidémiologique : établissement d'une enquête concernant une population de travailleurs dans des stations de pompes à essence à l'aide d'un questionnaire.
2. Eude expérimentale : l'impact de benzène des carburants sur la santé des travailleurs dans le milieu professionnel (variation des paramètres biochimiques et cellulaires du sang).

L'enquête a eu lieu au niveau des stations de pompes à essence installées au sein de l'Est de l'Algérie, et l'expérimentation s'est déroulé au niveau du laboratoire d'analyses biochimiques.

1. Étude épidémiologique (répartition générale de la population des pompistes)

Ce présent travail a concerné une étude épidémiologique aléatoire portant sur 100 travailleurs à différentes tranches d'âge dont nous avons dénombré dans le secteur professionnel, exposés aux carburants au niveau des pompes à essence des régions suivantes : El-Tarf, El-Kala, Oum-téboul, Ain-Assel, El-Frin, Lac des oiseaux, Sidi Kassi, Ben Mhidi, Drean, Annaba (Bouhamra), Bouhadjar, Azzaba.

Les travailleurs sont exposés selon une fréquence de 08 heure/jour, 6 jours/semaine aux différents types de carburants au sein des stations de services que ce soit le gaz de pétrole liquéfié (GPL), essence contenant du benzène (ordinaire, super ou sans plomb).

À l'origine, l'employé de station-service s'occupe de la distribution des carburants. Il dépose les carburants, surveille les pistes, les entretient, et encaisse. Il peut également procéder à quelques opérations de petite mécanique (niveaux, changement de pneumatiques ...)

A ces tâches, les stations-services dépendant de grands groupes pétroliers ont ajouté la prise en charge de boutiques proposant des boissons, aliments préemballés, accessoires automobiles ...et de locaux sanitaires pour les clients.

Sur les aires d'autoroute, les employés, polyvalents, peuvent également gérer des cafétérias....

Les tâches de l'employé de station-service sont donc très variables en fonction du type de station-service, de son appartenance à un groupe pétrolier ou à une grande surface et de sa localisation en ville ou sur l'autoroute ce qui explique la variabilité et l'intensité de l'exposition.

Un questionnaire individuel, volontaire et anonyme concernant principalement leur distribution est basé sur les critères de variabilité suivants :

- La réponse au questionnaire.
- L'âge.
- Durée d'exposition.
- Les maladies associées avant, pendant et après l'exposition.
- Le nombre et l'état général de santé des enfants.
- Les maladies dominantes chez leurs enfants.

1.1. Méthode de récolte de données

L'utilisation de la technique d'interview personnel, structuré à partir d'un questionnaire bien formulé permet de collecter les données obtenues qui concerne ces travailleurs.

L'organisation des données et leurs analyses (calcul des pourcentages correspondants et la comparaison entre les pourcentages) ont été effectuées à base de d'Excel Microsoft.

1.2. Limites de l'étude et difficultés rencontrées

Les difficultés suivantes ont été rencontrées :

- Certains sujets ne peuvent pas répondre à tout le questionnaire à cause de leurs principes de secrets professionnels.
- Certains sujets nous ne donnent pas de renseignements bien précis et suffisants ce qui réduit l'efficacité de notre enquête à cause du manque d'informations précises.
- Refus direct ou indirect de certains sujets de pouvoir donner du sang pour l'étude expérimentale à cause de leurs préoccupations et le manque de temps.
- Longues distances entre les stations d'essence.

1.3. Modèle de questionnaire établi

Ce questionnaire est volontaire et anonyme, les données de ce questionnaire seront utilisées pour des raisons scientifiques seulement. Le questionnaire de la fiche d'enquête établi aux travailleurs qui concerne notre population d'étude est comme suit :

Questionnaire d'enquête sur l'exposition aux carburants des travailleurs au sein de l'Est d'Algérie

Q1 : quel âge avez-vous ?

Q2 : quelle est la durée de votre travail dans ce domaine ?

Q3 : souffrez-vous de certaines maladies avant de commencer votre profession ?.....

Q4 : si oui, lesquelles ?.....

Q5 : et maintenant ?.....

Q6 : si oui, lesquelles ?.....

*** Pour les mariés :**

Q7 : avez-vous des enfants ?

Q8 : si oui, combien ?.....

Q9 : est ce qu'il a fallu une période pour donner naissance ?

Q10 : Vos enfants souffrent ils de certaines maladies ?.....

Q11 : si oui, lesquelles ?.....

Enfin, nous vous remercions de votre participation et votre collaboration.

2. Étude expérimentale

Notre travail a concerné une population de 36 personnes subdivisée en 18 témoins et 18 salariés qui sont exposés au benzène d'essence dans leur milieu professionnel et qui ne présentent aucune maladie chronique avant de commencer leur travail et non-fumeurs. L'âge moyen au sein de notre population d'étude est compris entre 20 et 62 ans, ces personnes ont participé à la réalisation de cette expérimentation volontairement.

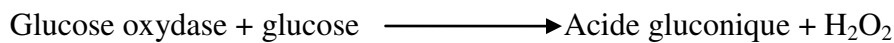
Nous avons étudié la variation des paramètres sanguins biochimiques et cellulaires qui indiquent le bon fonctionnement de l'organisme.

2.1. Paramètres biochimiques du sang

Le sang recueilli dans des tubes héparine est utilisé pour le comptage des cellules sanguines : globules rouges, hémoglobine, globules blancs, lymphocytes et plaquettes). Une autre fraction du sang est centrifugée, le plasma obtenu est utilisé pour le dosage des paramètres biochimiques : Glucose, Cholestérol (HDL / LDL), Triglycérides, Protéines, Urée, Créatinine, Acide urique, La phosphatase alcaline, les Transaminases: TGO/TGP, la Gamma GT (gamma glutamyl-transpeptidase) et la Bilirubine totale.

2.1.1. Dosage de glucose

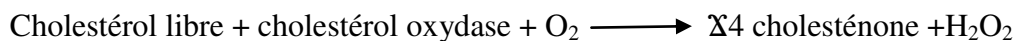
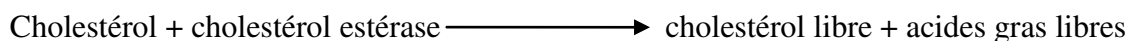
La glycémie est mesurée selon le dosage enzymatique et colorimétrique.



L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration en glucose (Barham & Trinder, 1972).

2.1.2. Dosage de cholestérol (HDL / LDL)

Le cholestérol est déterminé par les réactions suivantes :



$\text{H}_2\text{O}_2 + 4\text{-amino-antipyrine} + \text{HSDA} \longrightarrow \text{complexe de couleur bleu-violet}$. En présence de peroxydase.

L'intensité de la coloration est directement proportionnelle à la concentration en cholestérol et mesuré par la photométrie (Fasce, 1982).

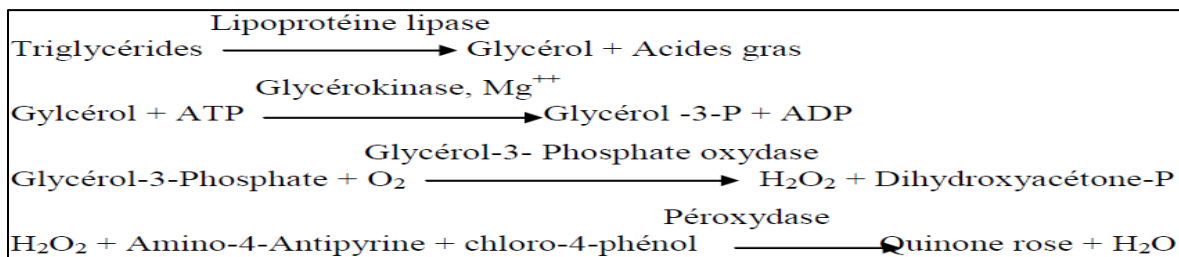
Le bon cholestérol (HDL) est déterminé par la méthode de la précipitation des lipoprotéines (chylomicrons, VLDL et LDL) par l'ajout de l'acide phosphotungstique et du chlorure de magnésium. Après la centrifugation, le surnageant clair contenant la fraction de HDL qui est testé par le réactif du Kit Chronolab pour la détermination du taux de HDL.

Le mauvais cholestérol LDL est déterminé par la méthode de différence selon l'équation de Friedwald et *al*, 1972: Cholestérol LDL = cholestérol totale – cholestérol HDL – triglycéride/n

- n=2 : lorsque les valeurs sont exprimées en mmol/l.
- n=5 : lorsque les valeurs sont exprimées en mg/dl.

2.1.3. Dosage de triglycérides

Le triglycéride a été déterminé suivant une méthode colorimétrique enzymatique. Les triglycérides sont déterminés selon les réactions suivantes (Fossati & Prencipe, 1982):



2.1.4. Dosage des protéines plasmatiques (Bradford, 1976)

Solution de Bradford :

- Bleu brillant de Comassie (BBC).....100 mg
- Ethanol (95%).....50 ml
- Agitation pendant deux heures.
- Acide orthophosphorique100 m
- Eau distillée.....1000 ml
- Agitation pendant deux heures.

Réalisation de la gamme d'étalonnage

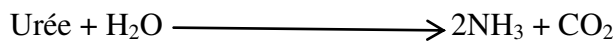
- Une solution d'albumine sérum de bœuf (BSA) à une concentration de 1mg/ml dans l'eau distillée.
- Pipeter 20, 40, 60, 80 µl de la solution standard BSA.
- Compléter le volume jusqu'à 100 µl avec l'eau distillée.
- Ajouter dans chaque tube 4 ml de réactif BBC. Bien vortexer.
- Lire les absorbances à 595 nm contre un blanc de (100 µl d'eau distillée + 4 ml de BBC). Pour l'échantillon: 100µl de plasma + 4 ml de BBC.

Tubes	1	2	3	4	5	6
BSA (µl)	0	20	40	60	80	100
Eau distillée (µl)	100	80	60	40	20	0
BBC (ml)	4	4	4	4	4	4

2.1.5. Dosage de l'urée

Le dosage d'urée se fait selon la méthode de Berthelot modifiée. L'urée est dosé en cinétique selon la réaction suivante :

Uréase

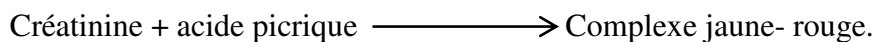


Les ions ammonium, en présence de salicylate et d'hypochlorite de sodium réagissent en formant un composé de couleur verte (Dicarboxylindophenol) dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en urée (Mackay & Mackay, 1927).

2.1.6. Dosage de la créatinine

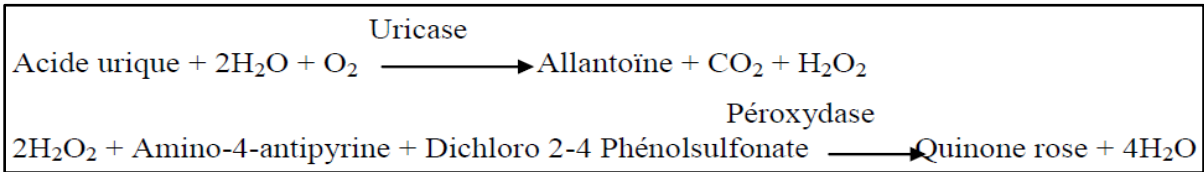
La créatinine a été déterminée suivant une méthode cinétique colorimétrique sans déprotéinisation. La créatinine forme en milieu alcalin un complexe coloré avec l'acide picrique. La vitesse de formation de ce complexe est proportionnelle à la concentration de créatinine (Larsen, 1972).

pH alcalin



2.1.7. Dosage de l'acide urique

Le dosage d'acide urique est effectué par l'utilisation de test colorimétrique Uricase-PAP. L'acide urique est dosé selon les réactions suivantes (Barham & Trinder, 1972):



2.1.8. Dosage de transaminases (ASAT, ALAT ou TGO TGP)

Il existe deux types de transaminases : les SGPT (Sérum Glutamopyruvate Transférase appelées aussi ALAT, Alanine-Aminotransférase) et les SGOT (Sérum Glutamoxyaloacétate Transférase dénommées également ASAT, Aspartate-Aminotransférase). Leur augmentation témoigne d'une lésion cellulaire dans le foie, le cœur, les muscles ou les reins.

Le principe de cette analyse est de déterminer colorimétriquement de l'activité TGO ou TGP à l'aide des réactifs et selon les réactions suivantes :

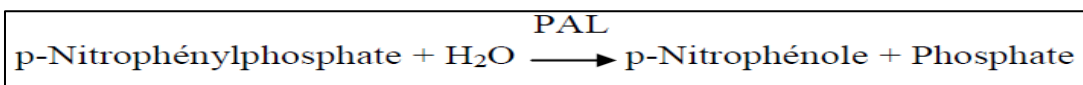
TGO (ASAT): Aspartate + α cétoglutarate $\xrightarrow{\text{TGO}}$ oxaloacetate + glutamate

TGP (ALAT): Alanine + α cétoglutarate $\xrightarrow{\text{TGP}}$ pyruvate + glutamate

Les résultats sont le nombre d'unités TGO et TGP par ml de sérum et déterminée à partir de la courbe d'étalonnage (Reitmans & Frankel, 1957).

2.1.9. Dosage de l'activité de la phosphatase alcaline (PAL)

L'activité de la phosphatase alcaline a été déterminée suivant une méthode cinétique p-Nitrophénylphosphate DGKC. La phosphatase alcaline (PAL) catalyse l'hydrolyse du pnitrophénylphosphate (pNPP) à pH 10,4 libérant du p-nitrophénole et du phosphate en fonction de la réaction suivante:



La vitesse de formation du p-Nitrophénole, déterminée par photométrie, est proportionnelle à la concentration catalytique de phosphatase alcaline dans l'échantillon testé (Rosalki *et al.*, 1993).

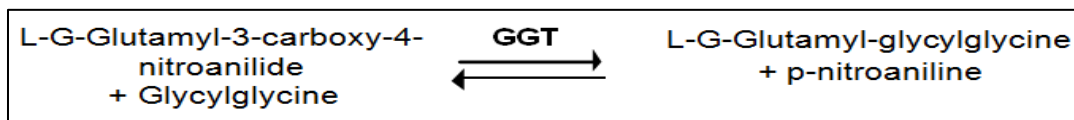
2.1.10. Dosage de Bilirubine totale

La bilirubine totale a été déterminée suivant la méthode d'acide sulfanilique. Réaction entre la bilirubine et l'acide sulfaniliquediazoté qui conduit à un composé, l'azobilirubine, coloré en milieu très acide ou basique. Principe de Malloy-Evelyn modifié par Walters et al : ensolution

aqueuse, seule la BD réagit. Pour doser la BT il est nécessaire de rompre la liaison entre la bilirubine indirecte et l'albumine. Cette étape est réalisée par l'addition de diméthylsulfoxyde (DMSO). L'absorbance de l'azobilirubine ainsi produite est proportionnelle à la concentration en bilirubine et est mesurée à 550 nm (530-580) (Mullon & Langer, 1987).

2.1.11. Dosage de la gamma-glutamyl transférase (GGT)

Méthode basée sur les travaux de Szasz, Rosalki et Tarlow. Le schéma réactionnel est le suivant :



La vitesse de formation du p-nitroaniline, directement proportionnelle à l'activité GGT dans le spécimen, est mesurée à 405 nm (Schumann *et al.*, 2002).

2.2. Paramètres cellulaires

Ces paramètres consistent à l'étude de la formule et la numération sanguine (FNS), c'est l'analyse quantitative et qualitative des éléments figurés du sang, se fait à l'aide d'un appareil appelée Automate qui mesure automatiquement le nombre des cellules sanguines. Nous avons choisi les paramètres suivants : globules rouges, hémoglobine, globules blancs, lymphocytes et plaquettes.

3. Étude statistique

Le traitement statistique des données et la comparaison de l'ensemble de résultats a été effectué à l'aide du logiciel : « Minitab: Data Analysis, Statistical & Process Improvement Tools » par l'application de l'analyse de la variance à 2 critères de classification (ANOVA).

Résultats

1. Étude épidémiologique

Le présent travail a concerné un échantillon des pompistes de l'Est de l'Algérie (les régions d'El-Tarf, Annaba et Skikda), une totalité de 100 travailleurs de stations de pompes à essence a été enquêtée.

1.1. Répartition des pompistes selon la réponse au questionnaire (déclaration ou non déclaration)

Sur l'ensemble des pompistes (travailleurs exposés aux carburants) questionnés, nous avons constaté que 73% des pompistes a répondu au questionnaire, alors que 27% des pompistes n'ont pas pu donner une déclaration (soit positive ou négative). La différence dans le taux de réponse est hautement significative ($p < 0.01$).

Tableau 4. Répartition des pompistes selon la réponse au questionnaire

Réponse au questionnaire	Déclaration	Non déclaration
Nombre de pompistes	73	27
Taux (%)	73	27

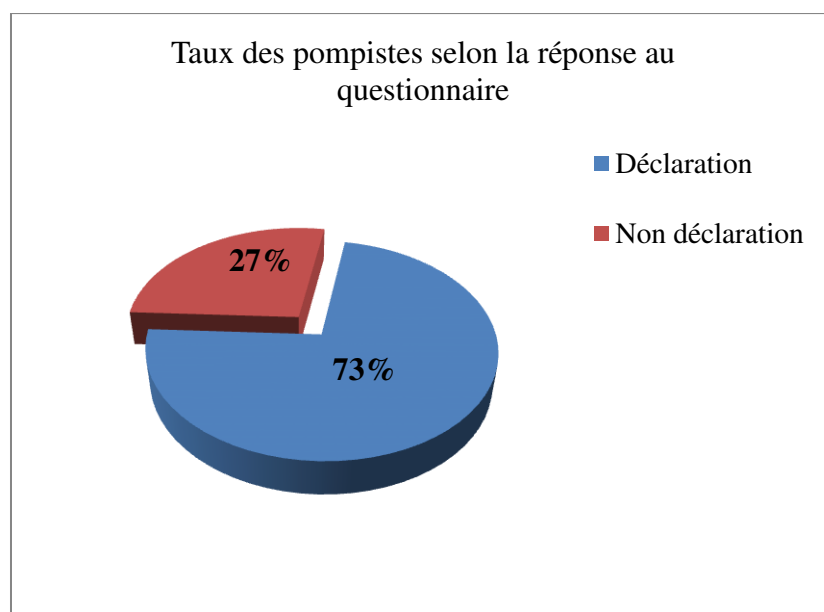


Figure 5. Répartition des pompistes selon la réponse au questionnaire

1.2. Répartition des pompistes selon l'âge

Parmi les 73% de la population des pompistes (exposés aux carburants), nous avons établi la répartition selon l'âge, dont 38% des travailleurs dans ce domaine étaient âgés de 40 à 50 ans, suivi par la classe d'âge de 30-40 ans avec un taux de 34%. Alors que le taux de travailleurs âgés de 50-60 est de 14% suivi par la tranche d'âge de 20-30 avec un taux de 11%. Les pompistes âgés de 60-70 ans représentent la minorité (3%). La différence entre les 5 groupes est statistiquement significative ($p < 0.05$).

Tableau 5. Répartition des pompistes selon l'âge.

Tranches d'âges (ans)	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Nombre de pompistes	8	25	28	10	2
Taux (%)	11	34	38	14	3

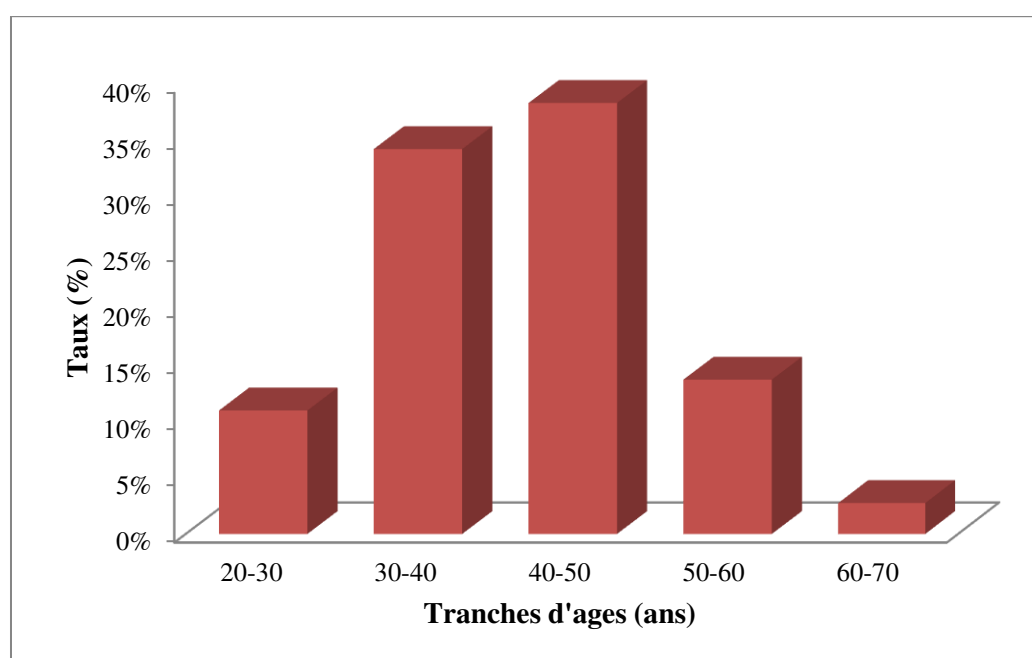


Figure 6. Répartition des pompistes selon l'âge

1.3. Répartition des pompistes selon la durée de l'exposition

D'après le tableau 6 et la figure 7, nous avons constaté que la majorité des travailleurs ont pratiqué le métier pour une durée de 5-10 ans et de 10-15 ans. La durée de l'exposition diminue progressivement et de manière hautement significative ($p < 0.01$) après 15 ans de travail.

Tableau 6. Répartition des pompistes selon la durée de l'exposition

Durée de l'exposition (ans)	1 - 5	5 - 10	10-15	15-20
Nombre des travailleurs	17	21	26	9
Taux (%)	23	29	36	12

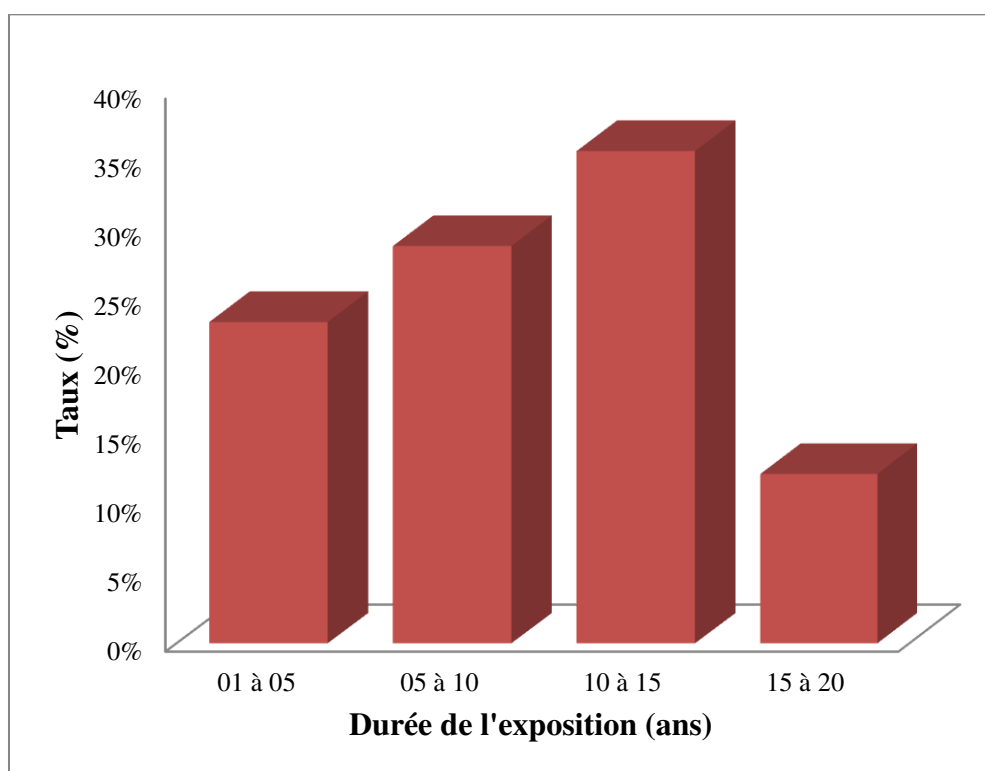


Figure 7. Répartition des pompistes selon la durée de l'exposition

1.4. Répartition des pompistes selon le taux de pathologies avant l'exposition aux carburants

Les résultats obtenus (Tableau 7 et Figure 8) montrent que 97% des pompistes étaient sains, alors que 3% ont déclaré qu'ils souffrent de certains cas d'allergie. La différence entre les 2 groupes est très hautement significative ($p < 0.001$).

Tableau 7. Répartition des pompistes selon les pathologies avant l'exposition

	Sains	Allergie
Nombre des pompistes	71	2
Taux (%)	97%	3%

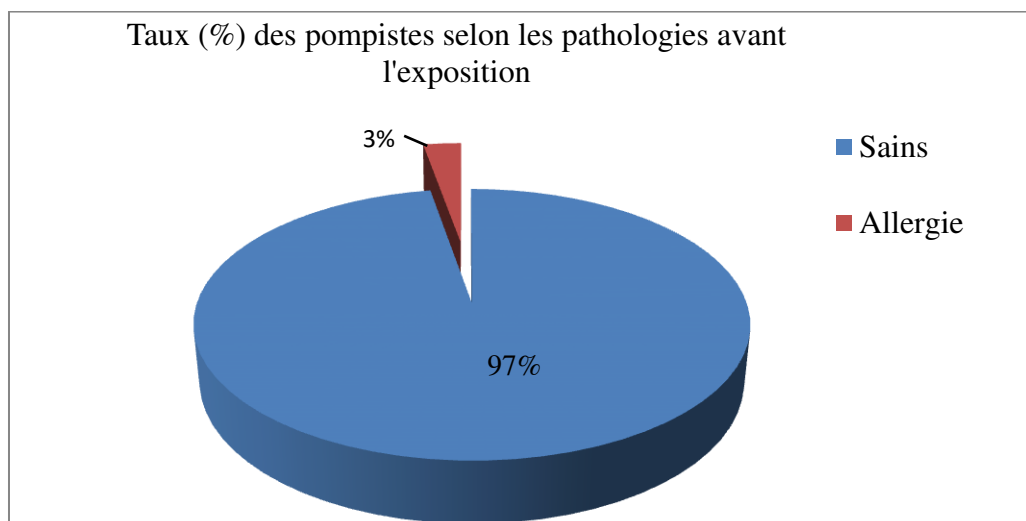


Figure 8. Répartition des pompistes selon les pathologies avant l'exposition

1.5. Répartition des pompistes selon les pathologies pendant et après l'exposition

D'après le Tableau 8 et la Figure 9, nous avons remarqué que le taux des pompistes sains est inférieur ($p < 0.05$) à celui enregistré avant l'exposition (30,76% contre 69,24%). Les pathologies les plus abondantes chez les pompistes pendant ou après l'exposition aux carburants sont les troubles nerveuses avec un taux de 18,67%, suivi par les troubles hématologiques (12,09%) comparés aux personnes sains.

Un taux élevé des irritations cutanés (8,79%) suivi par des troubles visuelles (5,49%) et à noter la présence de certains cas des troubles respiratoires, retard de reproduction, allergie, troubles gastro-intestinaux, cardio-vasculaires, rénaux et psychologiques.

Tableau 8. Répartition des pompistes selon les pathologies pendant ou après l'exposition

Pathologies	Sains	Cardio-vasculaires	Rénaux	Irritation cutané	Troubles nerveuses	Troubles respiratoires	Allergie
Nombre des pompistes	28	4	1	8	17	2	4
Taux (%)	30,76	4,40	1,10	8,79	18,67	2,20	4,40

Troubles visuelles	Retard de reproduction	Troubles psychologiques	Hématologiques	Troubles gastro-intestinales
5	4	3	11	4
5,49	4,40	3,30	12,09	4,40

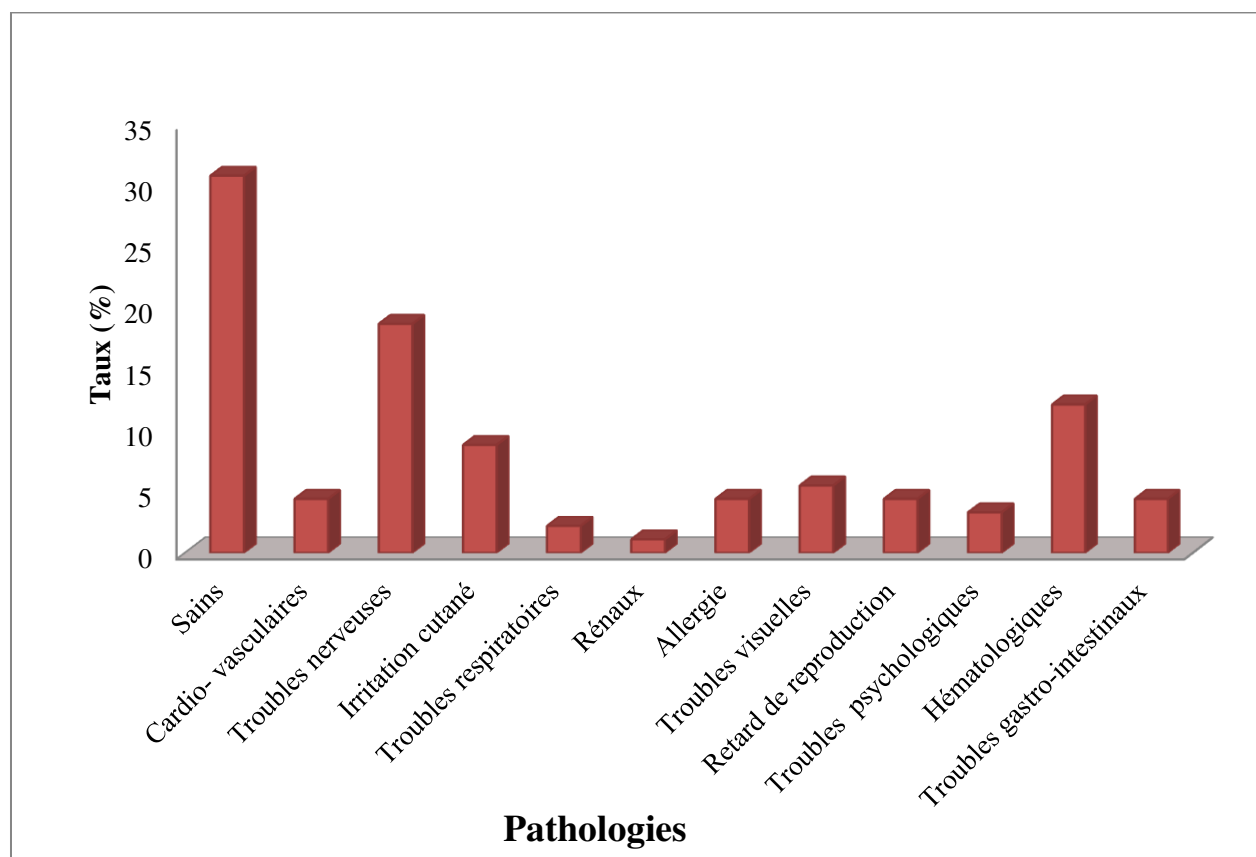


Figure9. Répartition des pompistes selon les pathologies pendant ou après l'exposition

1.6. Répartition des pompistes selon le nombre d'enfants

Le taux de nombre d'enfants chez les pompistes est variable entre 1.37% et 24.65%, à noter que 5,48% de pompistes n'ont pas eu encore d'enfants et 19,18% ne sont pas mariés. La différence entre l'ensemble des groupes de pompistes est non significative ($p > 0.05$).

Tableau 9. Répartition des pompistes selon le nombre d'enfants

Nombre d'enfants	1	2	3	4	5	6	Pas encore	Non marié
Nombre des pompistes	5	14	18	11	6	1	4	14
Taux (%)	6,85	19,18	24,65	15,07	8,22	1,37	5,48	19,18

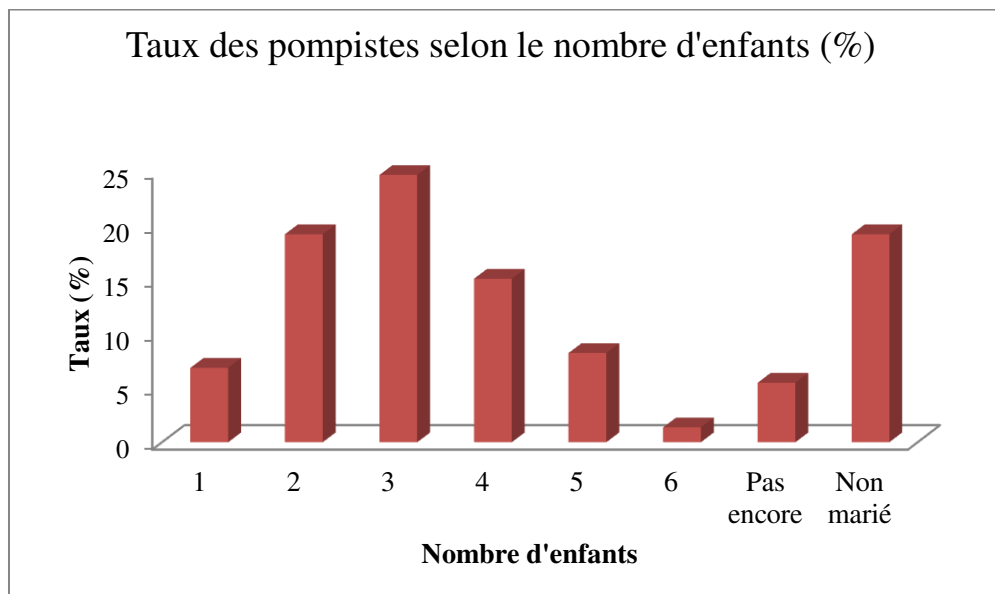


Figure 10. Répartition des pompistes selon le nombre d'enfants

1.7. Répartition des pompistes selon l'état de santé de leurs enfants

D'après le Tableau et la Figure, nous avons remarqué que le taux des pompistes qui ont eu des enfants sains est supérieur significativement ($p < 0.05$) que le taux des pompistes qui ont eu des enfants en état pathologique (76% contre 24%).

Tableau 10. Répartition des pompistes selon l'état de santé de leurs enfants

État de santé des enfants	Sains	Malades
Nombre des pompistes	42	13
Taux (%)	76	24

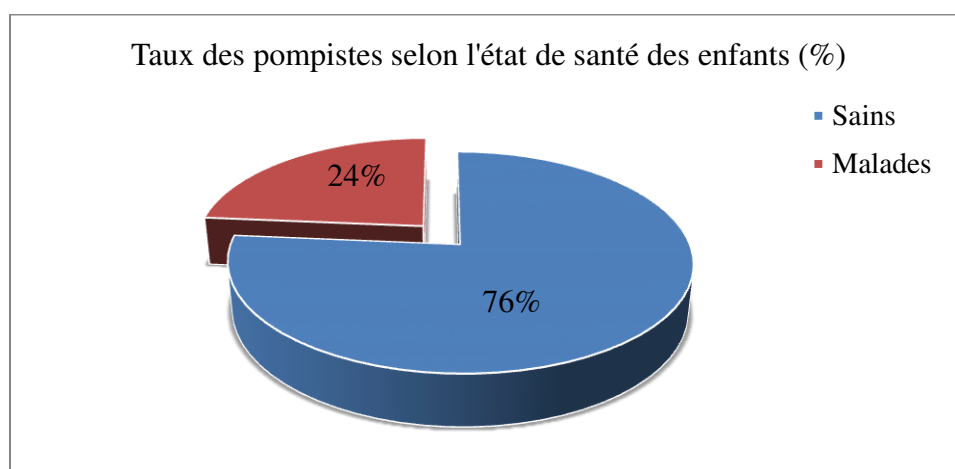


Figure 11. Répartition des pompistes selon l'état de santé de leurs enfants

1.8. Répartition des maladies dominantes chez les enfants des pompistes

Le taux le plus élevé est consacré à l'allergie (23,5%), suivi par l'anémie (17,5%), et à noter la présence de certains cas d'handicap, d'asthme, de perturbations nerveuses, de troubles visuelles, de diabète et de syndrome de Down. La différence entre l'ensemble des groupes est statistiquement significative ($p < 0.05$).

Tableau 11. Répartition des maladies dominantes chez les enfants de ces pompistes

Maladies	Allergie	Perturbations nerveuses	Troubles visuelles	handicapé	Asthme	anémie	diabète	Syndrome de Down
Nombre d'enfants	4	2	1	2	2	3	2	1
Taux (%)	23,5	11,8	5,9	11,8	11,8	17,5	11,8	5,9

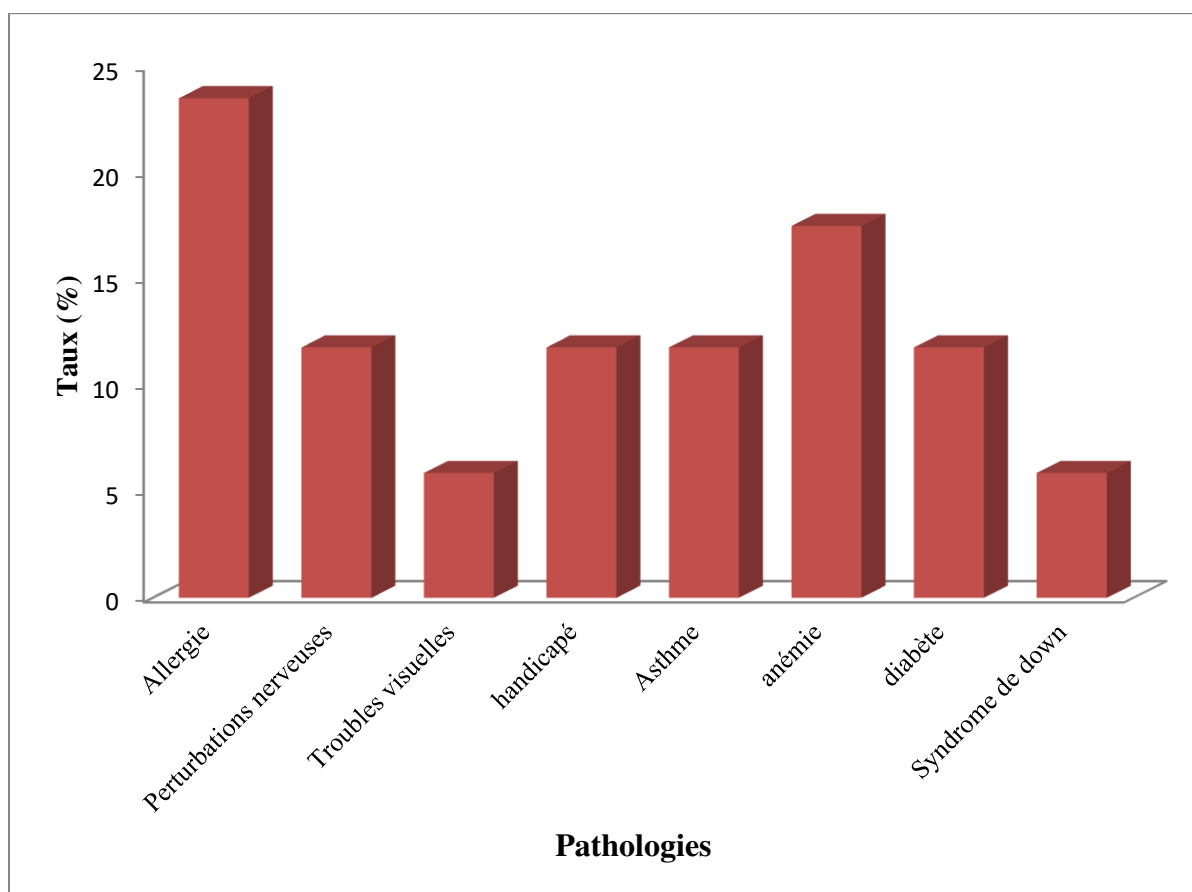


Figure 12. Répartition des maladies dominantes chez les enfants de ces pompistes.

2. Étude expérimentale

2.1. Variations des paramètres biochimiques du sang (Fonctionnement hépatique) entre les témoins et les travailleurs exposés au sein des pompes à essence

Le tableau 12 et les figures 13, 14, 15, 16 et 17 représentent les variations des paramètres indicateurs du bon fonctionnement du foie entre des personnes témoins et des travailleurs des pompes à essence.

Les résultats révèlent qu'il existe une augmentation non significative ($p > 0.05$) dans les taux de l'ensemble des paramètres étudiés à l'exception d'une diminution non significative ($p > 0.05$) dans le taux du cholestérol HDL chez les travailleurs exposés aux carburants au niveau des stations de service (pompes à essence) comparés aux témoins.

Tableau 12. Variations des paramètres hépatiques entre les témoins et les travailleurs exposés au sein des pompes à essence

Paramètres	Témoins	Exposés
Glucose (g/l)	0,99	1,02
Cholestérol HDL (g/l)	0,89	0,35
Cholestérol LDL (g/l)	1,03	1,99
Triglycérides (g/l)	1,52	1,98
Protéines (g/l)	82,19	121,01
(ALAT) TGP (UI/l)	42,11	53,01
(ASAT) TGO (UI/l)	37,02	46,12
Phosphate alcaline (UI/l)	127,91	141,83
Bilirubine total (mg/l)	8,23	13,72
GT (gamma glutamyl-transpeptidase (UI/l)	48,55	52,49

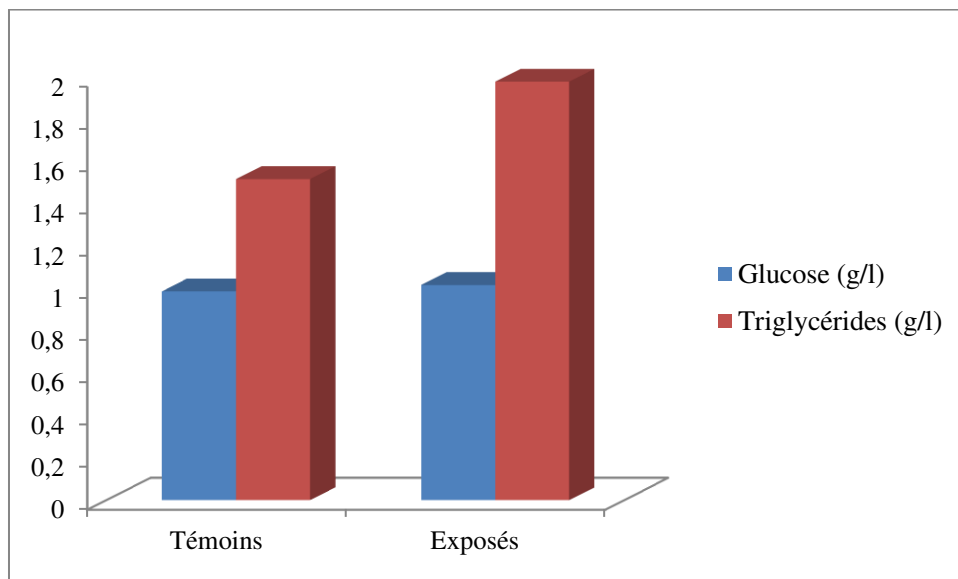


Figure 13. Variation du taux de glucose et triglycérides (g/l)

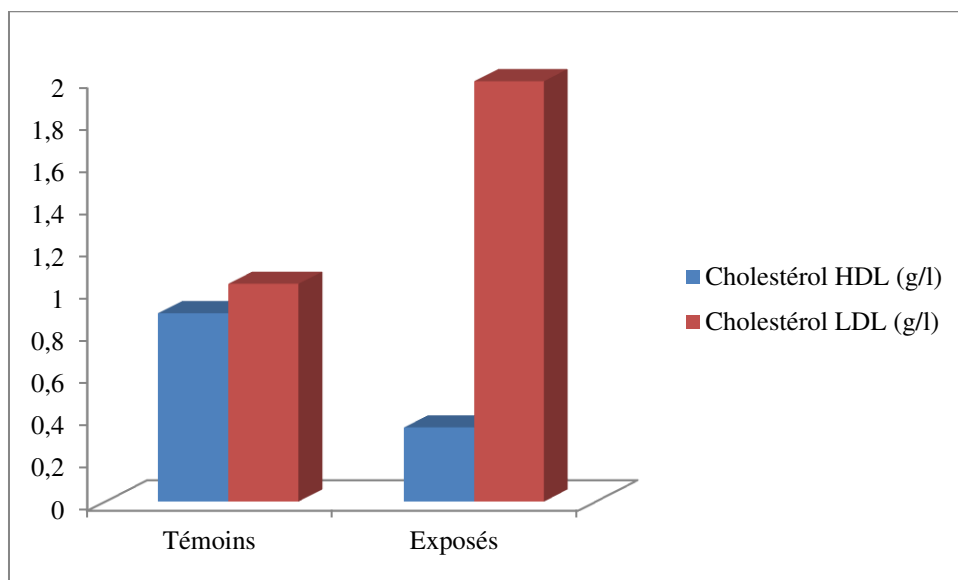


Figure 14. Variation du taux de cholestérol (HDL et LDL) (g/l)

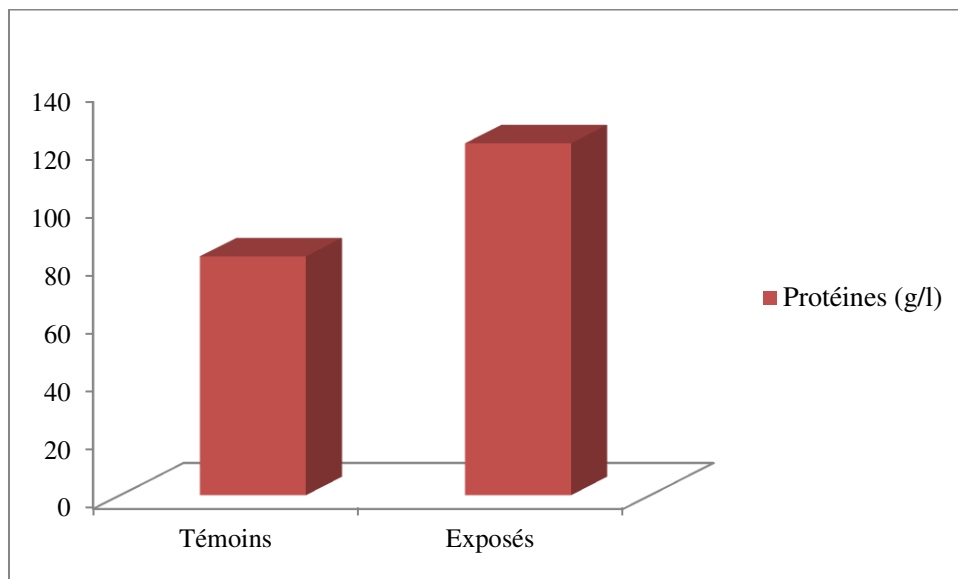


Figure 15. Variation du taux des protéines totales (g/l)

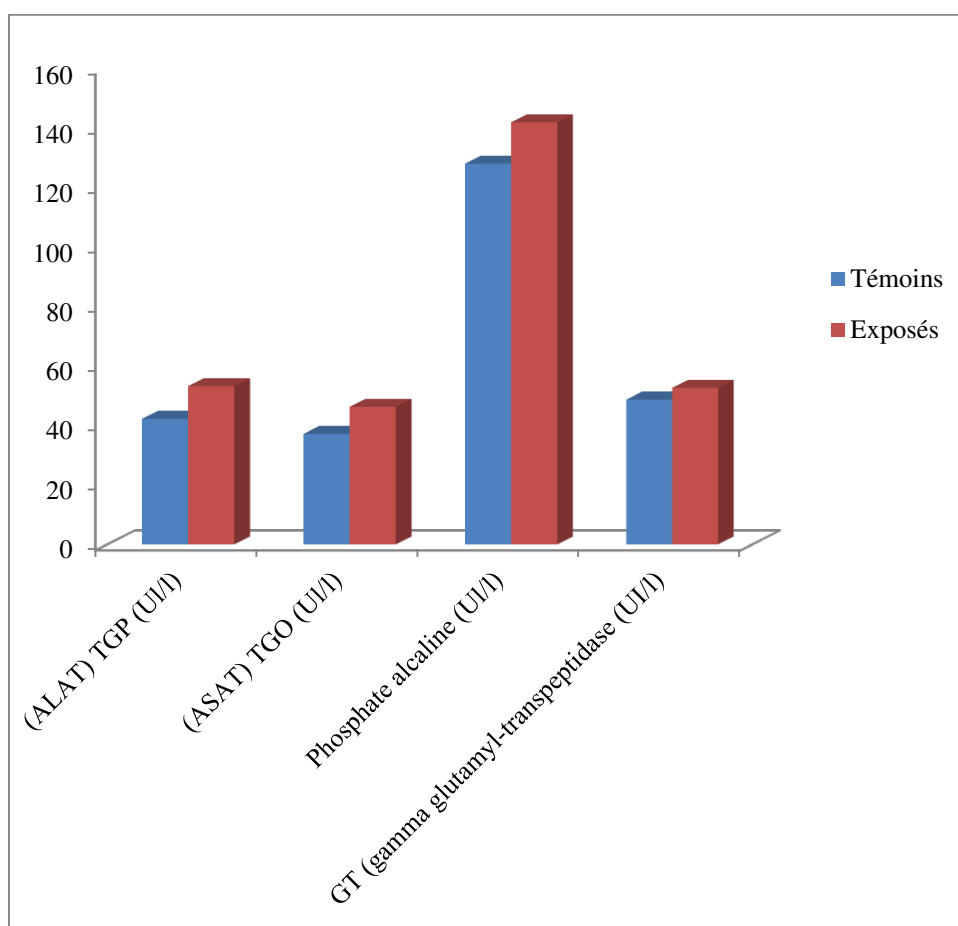


Figure 16. Variation des valeurs de transaminases (ASAT, ALAT), Phosphate alcaline et GT (UI/l)

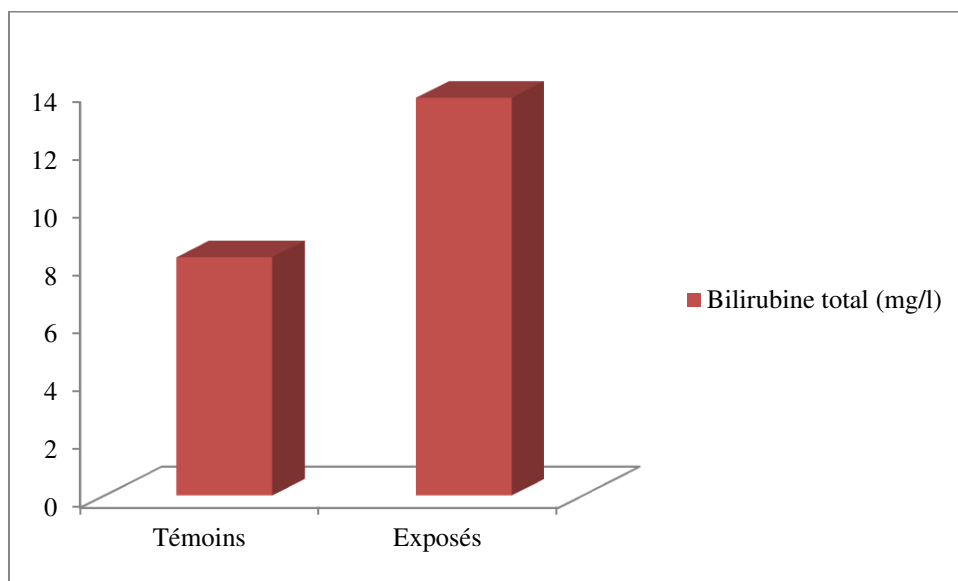


Figure 17. Variation des valeurs de Bilirubine total (mg/l)

2.2. Variations des paramètres biochimiques du sang (Fonctionnement rénal) entre les témoins et les travailleurs exposés au sein des pompes à essence

Les travailleurs exposés aux carburants au sein des stations de pompes à essence présentent des taux élevés d'urée, créatinine et d'acide urique comparé aux témoins, cette augmentation est significative ($p < 0.05$) (tableau 13 et figures 18 et 19).

Tableau 13. Variations des paramètres rénaux entre les témoins et les travailleurs exposés au sein des pompes à essence

Paramètres	Témoins	Exposés
Urée (g/l)	0,43	0,79
Créatinine (g/l)	11,06	14,13
Acide urique (mg/l)	68,71	77,02

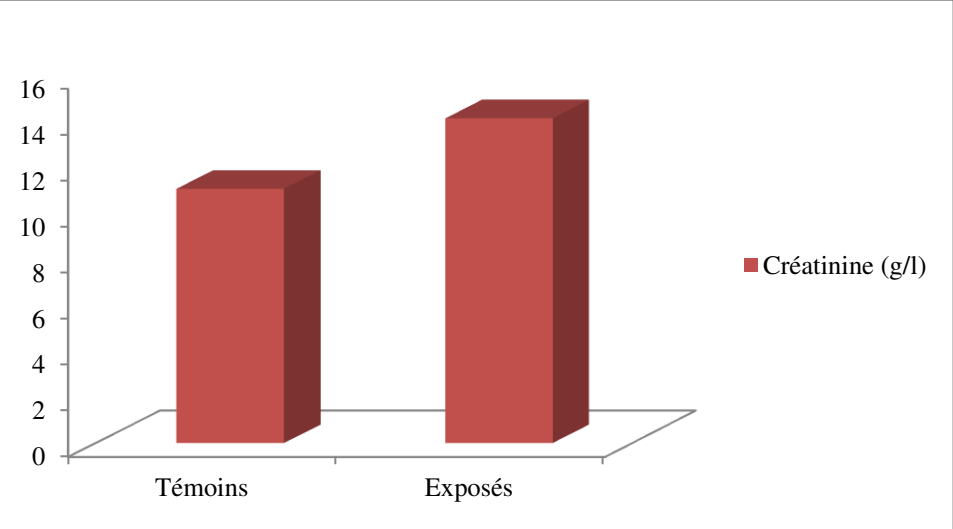
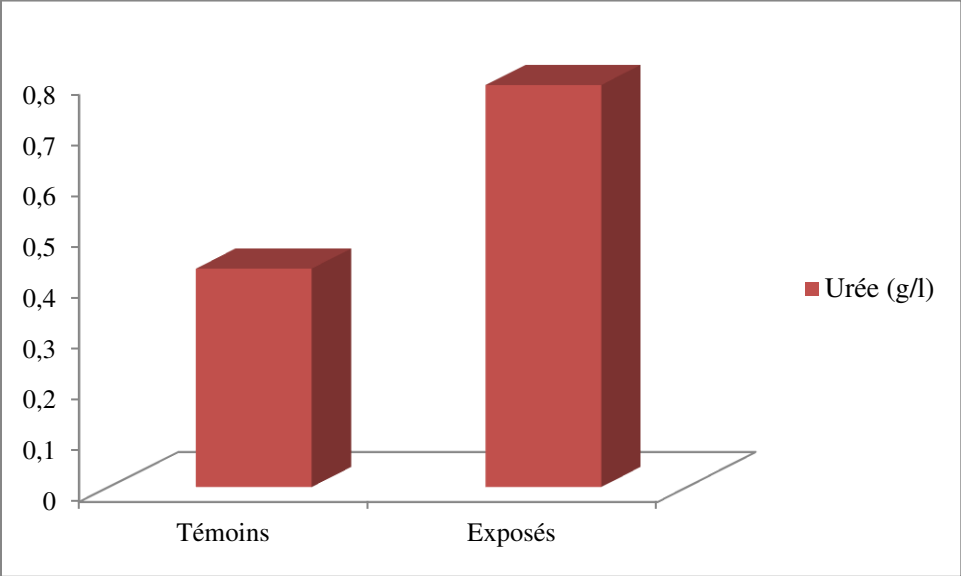


Figure 18. Variation des valeurs d'urée et créatinine (g/l)

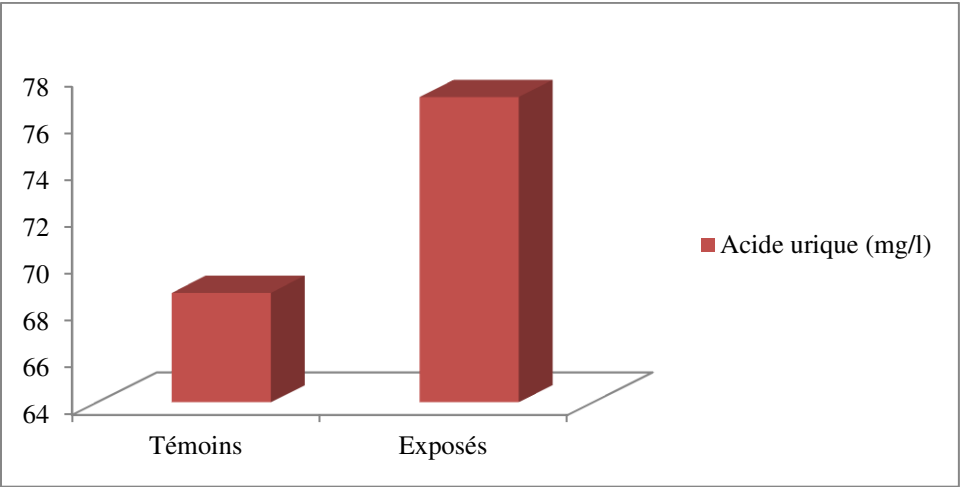


Figure 19. Variation des valeurs d'acide urique (mg/l)

2.3. Variations des paramètres cellulaires du sang entre les témoins et les travailleurs exposés au sein des pompes à essence

Nos résultats montrent une diminution significative ($p < 0.05$) du nombre de globules rouges, globules blancs et de lymphocytes avec une diminution hautement significative ($p < 0.01$) du taux d'hémoglobine (Hb) chez les pompistes comparés aux témoins.

Le nombre de plaquettes marque une augmentation hautement significative ($p < 0.01$) chez les travailleurs exposés aux carburants comparés aux témoins.

Tableau 14. Variations des paramètres cellulaires du sang entre les témoins et les travailleurs exposés au sein des pompes à essence

Paramètres	Témoins	Exposés
GR($\times 10^6$ /ml)	5,98	3,02
Hb(g/dl)	16,58	9,19
GB ($\times 10^3$ /ml)	6,31	4,43
Plaquettes ($\times 10^3$ /ml)	142,56	215,85
Lymphocytes ($\times 10^9$ /l)	3,09	1,21

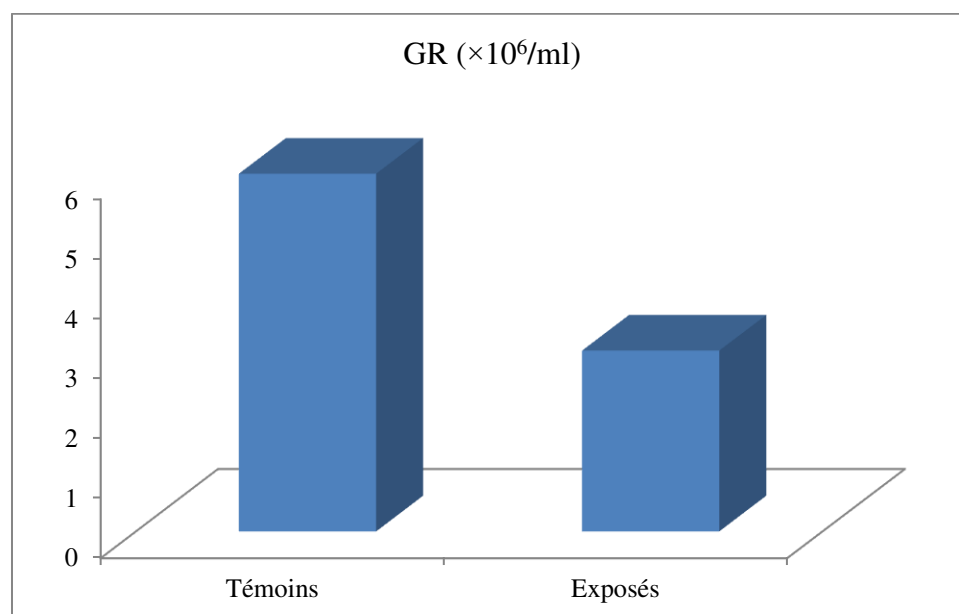


Figure 20. Variation du taux des globules rouges ($\times 10^6$ /ml)

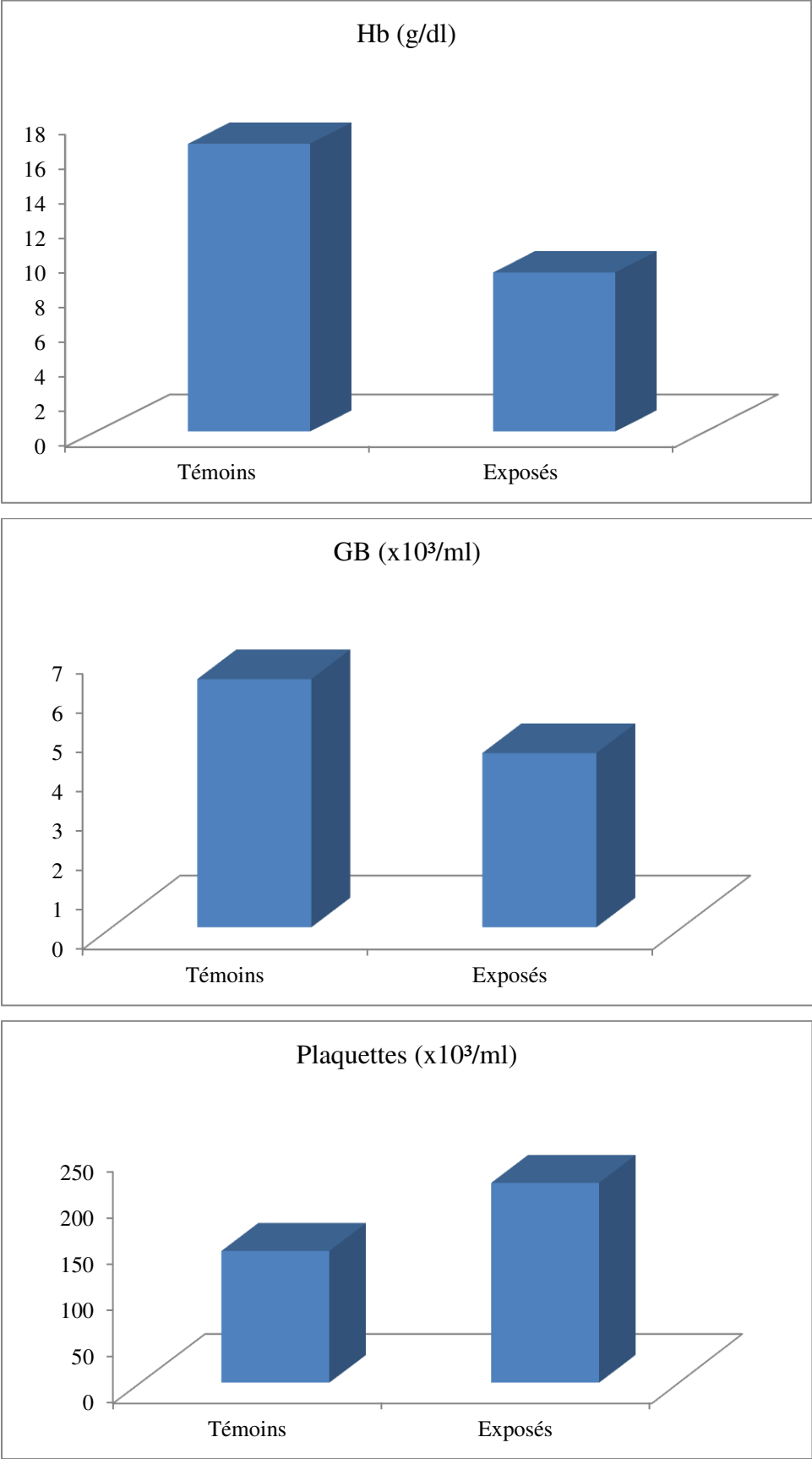


Figure 21. Variation des valeurs d'hémoglobine (Hb) (g/dl), globules blancs (GB) (x10³/ml) et plaquettes (x10³/ml)

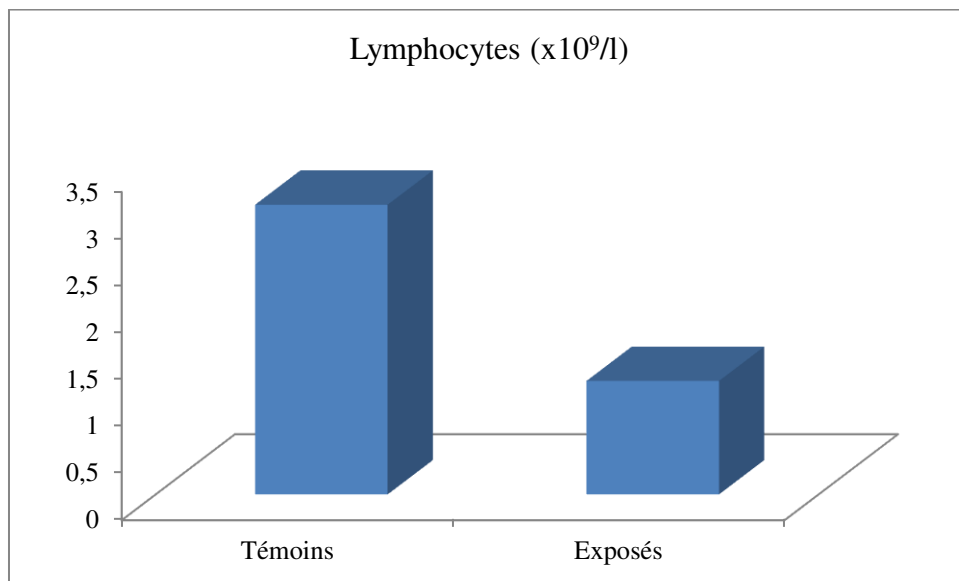


Figure 22. Variation du taux de lymphocytes (x10⁹/l)

Discussion

De nos jours, la pollution est omniprésente, que ce soit dans la vie de tous les jours ou au travail. La pollution de l'air extérieur a d'ailleurs été classée en 2013 dans le groupe des agents cancérigènes certain pour l'homme par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) (CIRC, 2013). Le lien entre un polluant et un effet sanitaire est difficile à exprimer avec certitude compte tenu de facteurs de risques nombreux, d'expositions généralement chroniques et du fait du temps de latence parfois très long entre l'exposition et la maladie

L'évaluation des risques et des dangers sanitaires pour les populations exposées à des contaminants environnementaux est un véritable enjeu de santé publique mais demeure une tâche particulièrement difficile pour deux raisons principales. D'une part, les mélanges environnementaux sont complexes, composés à la fois de contaminants organiques et inorganiques. D'autre part, la composition et les concentrations des composés chimiques sont soumises à des variations spatio-temporelles notamment en fonction de la nature et de la distance par rapport aux sources d'émission, des saisons et des conditions météorologiques (Chung *et al.*, 2015).

L'utilisation de produits chimiques sans cesse dans tous les secteurs industriels, artisanaux, agricoles, expose la plupart des travailleurs à des risques de toxicité aigüe ou chronique, par voie respiratoire, cutanée ou digestive. Qu'ils s'agissent de solides, de poussières, liquides, gaz, vapeurs ou fumées, beaucoup de ces produits sont corrosifs, irritants, allergisants, asphyxiants, fibrogènes, cancérogènes, reprotoxiques ... et parfois à des doses et des durées d'exposition faibles.

En domaine de toxicologie professionnelle, nous pouvant décrire les effets biologiques des différents agents chimiques industriels utilisés sur les lieux de travail, définir les niveaux permisibles d'exposition et les moyens de mesurer la concentration de ces substances dans l'air ambiant ou sur les surfaces des postes de travail, définir la surveillance et le dépistage biologiques des effets toxiques chez les travailleurs.

L'intensité d'exposition représente le niveau moyen d'exposition auquel a pu être soumis le travailleur pendant les tâches exposantes, en fonction de la période, de la nature habituelle de ces tâches et de son environnement de travail.

Notre étude s'intéresse à étudier les effets primitifs de l'exposition aux carburants des travailleurs de stations de services (pompes à essence).

Pour les essences carburants, le fait de faire le plein d'essence de sa voiture (jusqu'à une fois par jour) a été considéré comme l'exposition de base de la population générale et n'a donc pas été pris en compte dans le cadre des expositions professionnelles. Toute autre utilisation d'essence carburant (solvant, agent de dégraissage, remplissage des réservoirs plus fréquent) est considérée comme exposante.

Le travail a concerné une population de pompistes dont le taux de réponse au questionnaire était satisfait. Plus de la moitié des pompistes étaient âgées de 30 à 50 ans, l'impact de l'âge au sein d'une population d'étude représente un facteur assez important dans l'évaluation de la réponse toxicologique dont nous éliminons la possibilité de la sensibilité aux agents toxiques qui peut apparaître chez les enfants et les personnes âgées.

La majorité des individus de la population des travailleurs représente une ancienneté moyenne dans le secteur des pompes à essence ce qui peut être considéré comme une exposition chronique aux différents types de carburants et ce qui explique l'apparition d'effets qui sont de type dose-dépendants (Kim *et al.*, 2013).

Ces travailleurs présentent un taux bas de pathologies avant leurs accès au milieu professionnel, les cas pathologiques apparaissent de plus en plus pendant et après l'exposition aux carburants. Plusieurs études ont bien confirmé ce résultat (Bonneterre *et al.*, 2010).

Les troubles nerveux sont les maladies les plus abondantes chez les travailleurs accompagnées de troubles hématologiques, ces résultats sont bien d'accord avec les travaux de (Lovreglio *et al.*, 2010).

Chez l'homme, l'intoxication à de fortes concentrations de benzène dans l'air (> 50 ppm) affecte le système nerveux central et provoque notamment des étourdissements, des nausées, des vomissements, des céphalées et de la somnolence (Santé Canada, 2009).

L'intoxication aiguë (> 1000 ppm) peut même causer la mort dans certains cas d'hémorragie sévère, d'inflammation pulmonaire, de congestion rénale ou d'œdème cérébral (OMS, 2003).

D'autres études ont démontré que des symptômes appartenant à la liste des effets toxiques du benzène étaient présents chez 68,37 % des sujets. Leur catégorisation en symptômes «légers» (tels que céphalées, sensations vertigineuses, irritations cutanées, de la gorge ou du nez), «modérés» (dont difficultés respiratoires, douleurs dans la poitrine, fatigue, nausées, vomissements, crampes, vision floue) ou «sévères» (troubles de la conscience, troubles du rythme cardiaque, anémie) montre que la prévalence des symptômes modérés (33,67 %) est

plus élevée que celle des symptômes légers (24,49 %), des symptômes sévères pouvant être observés (rapportés par 10,20 % des sujets) (Chaiklieng *et al.*, 2015).

Certains pompistes souffrent de retard de reproduction qui est dus à l'effet de métabolites du benzène sur l'axe gonadotrope en tant que perturbateurs endocriniens. L'exposition professionnelle au benzène a parfois été associée à des désordres reproductifs et développementaux chez l'humain, l'exposition paternelle par inhalation en milieu de travail a été associée à des effets néfastes sur sa descendance (retard de croissance fœtale, avortement spontané, hypotrophie fœtale, mort-naissance) (Cal EPA, 2001).

L'étude expérimentale a démontré que les travailleurs exposés aux carburants présentaient des perturbations dans l'ensemble des paramètres indicateurs du bon fonctionnement hépatique et rénal ainsi que d'autres effets hématologiques. En effet, l'essence (super 95 et 98) contient du benzène, produit hautement cancérigène, en faible quantité certes, moins de 1%, mais très dangereux. L'inhalation est la voie principale d'exposition au benzène : on estime que 90% de l'exposition en résulte. On évalue à 50% l'absorption du benzène par inhalation ; il est ensuite rapidement distribué dans le corps. Le benzène peut également être absorbé rapidement par voie digestive. La voie cutanée est une source secondaire d'exposition qui concerne surtout le milieu professionnel (Chung *et al.*, 2015).

L'effet du benzène sur la fonction hépatique se manifeste sur deux plans : métabolique et structural. Tous les produits du métabolisme physiologique (glucose, lipide, protéine) sont perturbés chez le groupe des pompistes.

Nous avons remarqué une augmentation dans les taux de l'ensemble des paramètres étudiés à l'exception d'une diminution dans le taux du cholestérol HDL chez les travailleurs exposés aux carburants au niveau des stations de service (pompes à essence), l'ensemble de ces perturbations sont dues à l'altération des fonctions du foie par les métabolites du benzène qui peuvent inhiber la phosphorylation oxydative, le métabolisme du glucose (glycolyse et cycle de Krebs, principaux producteurs d'ATP), la synthèse des protéines, la réplication d'ADN et de l'ARN ribosomal (INRS, 2016).

Le benzène est métabolisé essentiellement dans le foie, mais aussi dans les autres tissus où il s'est fixé, notamment la moelle osseuse. La première réaction, catalysée par le système du cytochrome P450, conduit à la formation d'époxybenzène. Cette étape de métabolisation est essentielle dans la toxicité du benzène (Valentine *et al.*, 1996).

En effet, les métabolites responsables des effets toxiques sont formés à partir de l'époxybenzène très réactif par différentes voies d'oxydation.

L'augmentation du taux de la phosphatase alcaline, des transaminases, du gamma glutamyl-transpeptidase et la bilirubine total chez les personnes exposées aux carburants témoigne la présence d'un stress oxydatif au niveau des cellules hépatiques qui peut conduire à l'apparition des lésions ou de graves maladies du foie.

La cible du benzène est le système hématopoïétique : moelle osseuse, tissu lymphoïde, production de globules rouges, de globules blancs, de plaquettes. L'exposition au benzène peut entraîner des effets aigus et chroniques (c'est-à-dire qui persistent dans le temps), cancérigènes ou non. L'atteinte de la moelle osseuse constitue le premier signe d'une toxicité chronique susceptible d'évoluer vers une leucémie (Lewis, 1997).

Une augmentation du nombre de plaquettes (on parle de thrombocytose) peut être le signe d'une inflammation ; d'une infection ; une carence en fer entraînant une anémie; la présence de brûlures sévères ; un stress important et une cirrhose.

D'après nos résultats, les marqueurs de la fonction rénale (l'urée et la créatinine) ont été altérés chez les pompistes. Cette altération se manifeste par la perturbation de ces marqueurs d'épuration rénale. Une atteinte rénale a été observée dans plusieurs études menées sur la toxicité du benzène. Il s'agit constamment d'une atteinte tubulaire, primaire ou secondaire. L'augmentation du taux d'acide urique chez les travailleurs des pompes à essence peut être due au stress oxydant ou à l'altération de la fonction des reins. Le taux élevé de l'acide urique circulant signifie un indicateur de défense de l'organisme contre les effets délétères des radicaux libres. Dans la biologie clinique, une concentration sanguine élevée de l'acide urique est considérée comme indicateur pathologique reflétant une insuffisance rénale (Rota *et al.*, 2014).

Depuis bien longtemps, aux États-Unis et dans la plupart des pays européens, des renifleurs sur le pistolet aspirent les vapeurs limitant considérablement le danger dans les stations-services. Les directives visant à récupérer les vapeurs d'essence lors du ravitaillement en carburant des véhicules dans les stations-service sont globalement appliquées. L'installation d'équipements permet de récupérer les gaz nocifs qui s'échappent lors du ravitaillement en carburant des véhicules.

Références bibliographiques

- ✓ AFSSET (Agence Française De Sécurité Sanitaire De L'Environnement Et Du Travail). Mise à jour de l'expertise relative aux radio fréquences. 2009.
- ✓ Albinet A, Leoz-Garziandia E, Budzinski H, Viilenave E. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), nitrated PAHs and oxygenated PAHs in ambient air of the Marseilles area (South of France): concentrations and sources. *Sci. Total. Environ.* 2007, 384: 280-292.
- ✓ American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Documentation of the threshold limit values and biological exposure indices. Documentation of TLV's and BEI's. 2001, 7th Ed.
- ✓ Barham D, Trinder P. An improved colour reagent for the determination of blood glucose by the oxidase system. *Analyst.* 1972, 97(151):142-5.
- ✓ Basol. Base de données, France. 2013.
- ✓ Bonneterre V, Faisandier L, Bicout D, Bernardet C, Piollat J, Ameille J. Programmed health surveillance and detection of emerging diseases in occupational health: contribution of the French national occupational disease surveillance and prevention network (RNV3P). *Occup Environ Med.* 2010, 67(3): 178-186.
- ✓ Boust C, Lebreton R. Combustibles et carburants pétroliers. INRS. 2006.
- ✓ Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem.* 1976, 7(72): 248-54.
- ✓ Burstyn I, Randem B, Lien JE, Langard S, Kromhout H. Bitumen, polycyclic aromatic hydrocarbons and vehicle exhaust: Exposure levels and controls among Norwegian asphalt workers. *Ann. Occup. Hyg.* 2002, 46: 79-87.
- ✓ Cal EPA. Public health goal for benzene in drinking water. Office of Environmental Health Hazard Assessment, Pesticide and Environmental Toxicology Section, California. Environmental Protection Agency, Oakland, California. 2001: 161.
- ✓ Chaiklieng S, Pimpasaeng C, Thapphasaraphong S. Benzene exposure at gasoline stations: health risk assessment. *Hum Ecol Risk Assess.* 2015, 21: 2213-22.
- ✓ Cheikh Mansour. Gas-Diesel (dual-fuel) modeling in diesel engine environment. *International Journal of Thermal Sciences.* Volume 40, Issue 4, April 2001: 409-424.
- ✓ Chung DA, Yang RR, Verma DK, Luo J. Retrospective Exposure Assessment for Occupational Disease of an Individual Worker Using an Exposure Data base and Trend Analysis. *J Occup Environ Hyg.* 2015; 12(12): 855-865.

- ✓ CIRC. La pollution atmosphérique une des premières causes environnementales de décès par cancer. Communiqué de presse n° 221. Lyon. 17 octobre 2013.
- ✓ Colombano S, Saada A, Victoire E, Guerin V, Zornig C, Amalric L, Blessing M, Widory D, Hube D et Blanc C avec la collaboration de Honrado JC et Gassiat B. Nature des produits pétroliers et origine du vieillissement : tentative de l'identification de la source via la prise en compte des impacts et l'analyse de l'âge approximatif des déversements. Rapport final. 2014: 163 p, 62 fig, 33 tabl.
- ✓ Colombano. La mesure des hydrocarbures flottants, Journée technique d'information et de retour d'expérience sur les sites et sols pollués. 2009.
- ✓ Commission européenne. Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical Industry. 2002.
- ✓ CSST (Commission de la santé et de la sécurité du travail). Service du répertoire toxicologique - Benzène. 2003.
- ✓ DARES (Direction de l'Animation de la Recherche, des Etudes et des Statistiques). Les expositions aux risques professionnels par famille professionnelle, Résultats SUMER 2003 N.121, DARES. 2006.
- ✓ Drolet D, Beauchamp G. Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail. Études et recherches / Guide technique, 8ème éd. revue et mise à jour. Montréal: IRSST. 2012.
- ✓ Emilio Lèbre La Rovere. Vingt-cinq ans d'éthanol au Brésil, Biofutur. Volume 1999, Issue 195, Décembre 1999: 20-2.
- ✓ Fasce CF. Fiche technique BIOMAGHREB. 1982 *Clin. Chem.* 18 : 901. Cité par fiche technique BIOMAGHREB. Réf. 20111.
- ✓ Favennec JP. Le Raffinage du pétrole - Tome 5: Exploitation et gestion de la raffinerie. Éditions OPHRYS, 1998: 55-126.
- ✓ Fossati P, Prencipe L. Serum Triglycerides Determined Colorimetrically with an Enzyme that Produces Hydrogen Peroxide. *Clinical Chemistry.* 1982, 28: 2077-2080.
- ✓ Garnier R. Hydrocarbures aromatiques. In : Bismuth C. Toxicologie clinique. Paris : Flammarion Médecine-sciences. 2000 : 760-764.
- ✓ Guibet JC. Carburants et moteurs. Tomes 1 et 2: Technologies, énergie, environnement. Éditions Technip. 1997: 339-375.
- ✓ Guibet JC. Carburants liquides, caractéristiques et principes généraux. BE 8543 Techniques de l'ingénieur. 2011: 1-2.

- ✓ Guibet JC. Les carburants et la combustion- Composition et caractéristiques des carburants. BM 2520 Techniques de l'ingénieur. 2000: 3-4.
- ✓ HCSP (Haut Conseil de la Santé Publique). Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos le benzène. *Rapport de la Commission spécialisée Risques liés à l'environnement*. 2010.
- ✓ Henderson RF. Aromatic hydrocarbons - benzene and other alkylbenzene. *Patty's toxicology*. 5th ed, vol. 4. Eula Bingham, Barbara Cohrssen, Charles H. Powell. New York : John Wiley and sons. 2001 : 231-260.
- ✓ IFPEN (Institut Français du Pétrole et Énergies nouvelles). les ressources des hydrocarbures, In : les liquides pétroliers. 2010.
- ✓ INC (Institut National de Cancer). Cancer et substances chimiques, *Collection Fiche Repère*. 2010.
- ✓ INRS. Combustibles et carburants pétroliers, *Ed. 989*. 2006.
- ✓ INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité). Fiche toxicologique : Benzène. 2007.
- ✓ INRS (Institut national de recherche et de sécurité). Fiche toxicologique FT 49 (benzène). Paris, 2011, 12p.
- ✓ INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité). Stations-services et autres stations de distribution de produits pétroliers, prévenir les risques lors des opérations de maintenance.2016.
- ✓ INRS. Références en santé au travail. No 148. 2016.
- ✓ Javelaud, B. L'exposition au benzène des mécaniciens et des citernistes. *Documents pour le medecin du travail*. 2010 (82): 125-131.
- ✓ Khalade A, Jaakkola MS, Pukkala E, Jaakkola JJ. Exposure to benzene at work and the risk of leukemia: a systematic review and meta-analysis. *Environ Health*. 2010 Jun 28; 9: 31.
- ✓ Kim KH, Jahan SA, Kabir E, Brown RJ. A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. *Environ. Int*. 2013, 60: 71-80.
- ✓ Kirk Othmer. *Encyclopedia of chemical technology*. 4 ed, vol. 4. New York : John Wiley and sons. 1992: 73-99.
- ✓ Larsen K. Creatinine assay by a reaction-kinetic principle. *Clin Chim Acta*. 1972 Oct, 41:209-17.
- ✓ Lewis SJ. Retrospective estimation of exposure to benzene in a leukaemia case-control study of petroleum marketing and distribution workers in the United Kingdom. *Occup Environ Med*. 1997, 54: 167-175.

- ✓ Lovreglio P, Barbieri A, Carrieri M, Sabatini L. Validity of new biomarkers of internal dose for use in the biological monitoring of occupational and environmental exposure to low concentrations of benzene and toluene. *Int Arch Occup Environ Health*. 2010; 83 (3) : 341-56.
- ✓ Mackay EM1, Mackay LL. The concentration of urea in the blood of normal individuals. *J Clin Invest*. 1927 Jun; 4(2):295-306.
- ✓ Marchal, Penet, Solano-Serena, Vandecasteele. Gasoline and Diesel Oil Biodegradation. *Oil & Gas Science and Technology*. Vol 58, N°4, 2003: 441-448.
- ✓ Mazouzi R, Khelidj B, Karas A, Kellaci A. Régénération des huiles lubrifiantes usagées par processus de traitement à l'acide. *Revue des Energie Renouvelables*. Vol. 17 : 4, 2014 : 631 – 637.
- ✓ Mitscherlich E. Ueber das Benzol und die Säuren der Oel- und Talgarten , *Ann. Pharm.* vol. 9, n° 1 , 1834: 39-48.
- ✓ Montagne X, Guibet JC. Carburants liquides : Essences et carburants pour moteurs à allumage commandé. BE 8 544 *Techniques de l'ingénieur*. 2011 : 12-13.
- ✓ Montagne X. Carburants liquides: gazoles, jets fuels et autres distillats moyens. BE 8 545 v2 *Techniques de l'ingénieur*. 2011 : 3-4.
- ✓ Mullon CJ, Langer R. Determination of conjugated and total bilirubin in serum of neonates, with use of bilirubin oxidase. *Clin Chem*. 1987 Oct, 33(10):1822-5.
- ✓ OMS. Benzene in drinking water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water quality, Organisation mondiale de la santé (OMS), Genève, WHO/SDE/WSH/03.04/24. 2003: 5.
- ✓ Pilorget C, Dananche B, Luce D, Fevotte J. Éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux carburants et solvants pétroliers. Institut de veille sanitaire. 2007 : 6-8.
- ✓ Publications Un. 2000 Annuaire des statistiques de l'énergie. Nations Unies, 2002: 114-117.
- ✓ Reitman S, Frankel MD. A Colorimetric Method for the Determination of Serum Glutamic Oxalacetic and Glutamic Pyruvic Transaminases. *American Journal of Clinical Pathology*, Volume 28, Issue 1, 1 July 1957: 56–63.
- ✓ Rosalki SB1, Foo AY, Burlina A, Prellwitz W, Stieber P, Neumeier D. Multicenter evaluation of Iso-ALP test kit for measurement of bone alkaline phosphatase activity in serum and plasma. *Clin Chem*. 1993 Apr,39(4):648-52.
- ✓ Rota M, Bosetti C, Boccia S, Boffetta P, La Vecchia C. Occupational exposures to polycyclic aromatic hydrocarbons and respiratory and urinary tract cancers: an updated systematic review and a meta-analysis to 2014. *Arch Toxicol*. 2014; 88:1479-90.

- ✓ Santé Canada. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Document technique. Benzène, Préparé par le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable, Ottawa, Ontario. 2009: 47.
- ✓ Schumann G, Bonora R, Ceriotti F, Féraud G. IFCC primary reference procedure for the measurement of catalytic activity concentrations of enzymes at 37 °C. Part 5: Reference procedure for the measurement of catalytic concentration of γ -glutamyltransferase. *Clin Chem Lab Med*. 2002, 40: 734-8.
- ✓ Selim MYE. Combustion of jojoba methyl ester in an indirect injection diesel engine. *Renewable Energy*. 2003, 28: 1401–1420.
- ✓ Silvio CA de Almeidaa. Performance of a diesel generator fuelled with palm oil Fuel. Volume 81, Issue 16, 1 Novembre 2002: 2097-2102.
- ✓ Stellman JM. Encyclopédie de sécurité et de santé au travail. International Labour Organisation. 2002, 3: 78.9-78.12.
- ✓ Tecqué É, Travers C. pétrole. BE 8520 Techniques de l'ingénieur. 2010: 1- 16.
- ✓ Testud F. Pathologie toxique en milieu de travail. Lyon : éditions Alexandre Lacassagne. 1993: 373.
- ✓ Triolet J. Panorama de l'utilisation des solvants en France fin 2004. Cahiers de notes documentaires. 2005, 199: 65-97.
- ✓ Valentine JL, Lee SS, Seaton M. Reduction of benzene metabolism and toxicity in mice that lack CYP2E1 expression. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 1996 ; 141 : 205-213
- ✓ Vially R, Maisonnier G, Rouaud T. Les hydrocarbures de roche-mère - *État des lieux* -. 2013: 16-121.
- ✓ Wauquier JP. Le raffinage du pétrole - Tome 1 : Pétrole brut - Produits pétroliers - Schémas de fabrication. *Collectif Technip*. 1994: 510.
- ✓ Youma Mountapmbeme P. Exposition professionnelle chronique au benzène chez les pompistes de la ville de Yaounde et variations des concentrations d'acide trans, trans-muconique dans l'urine. *Health Sciences and Diseases (The journal of Medecine and Health Sciences)*. 2015.