



Mémoire de Projet de fin d'étude

Préparé par

HASSANE OUZZANI CHAHDI

Pour l'obtention du diplôme

Ingénieur d'Etat en

SYSTEMES ELECTRONIQUES & TELECOMMUNICATIONS

Intitulé

**Analyse des technologies existantes de capteurs de gaz
antipollution pour l'automobile**

**Synthèse d'un nouveau capteur à base de transistor
HEMT (Al,In)GaN/GaN ou MSM B GaN/Gan**

Encadré par :

Pr Ali Ahaitouf (FST FES)

Dr Ali Soltani (Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie)

Dr Nouredine Bourzgui (Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie)

Soutenu le **23 Juin 2016**, devant le jury composé de :

Pr Ali Ahaitouf.....: Encadrant(FST FES)

Dr Ali Soltani.....: Encadrant(IEMN)

Dr Nouredine Bourzgui.....: Encadrant(IEMN)

Pr Abdellah Mechqrane.....: Examineur(FST FES)

Pr Najia Es-Sbai..... : Examineur(FST FES)

ANNEE UNIVERSITAIRE 2015- 2016

قال الله تعالى:

« مَنْ كَانَ يَظُنُّ أَنْ لَنْ يَنْصُرَهُ اللَّهُ فِي الدُّنْيَا وَالْآخِرَةِ فَلْيَمْدُدْ بِسَبَبٍ إِلَى السَّمَاءِ ثُمَّ لِيَقْطَعْ فَلْيَنْظُرْ هَلْ يُذْهِبَنَّ كَيْدَهُ مَا يَغِيظُ »

{الحج:15}

«Celui qui pense que Dieu ne le secourra pas dans l'ici-bas et dans l'au-delà, qu'il tende une corde jusqu'au ciel, puis qu'il la coupe et qu'il voie si sa ruse va faire disparaître ce qui l'enrage»

{Le pèlerinage : 15}

Table des matières

Remerciements	7
Liste des figures	8
Liste des tableaux	11
Introduction générale	12
Chapitre 0 : Présentation de l'IEMN, laboratoire d'accueil	14
Chapitre I. Description du contexte	19
I.1 La problématique	20
I.2 les principaux polluants.....	20
I.3 Les normes européennes d'émissions de gaz polluants.....	21
I.4 Les systèmes de dépollution.....	23
I.4.1 Catalyseur trois voies.....	24
I.4.2 Catalyseur d'oxydation diesel.....	25
I.4.3 Traitement des oxydes d'azote.....	25
I.5 La nécessité d'un capteur de gaz.....	27
I.6 Conclusion.....	29
Référence.....	30
CHAPITRE II. Capteur électrochimique et contrôle des lignes d'échappement	31
II.1 Introduction.....	32
II.2 Capteur potentiométrique	33
II.3 Capteur ampérométrique.....	35
II.4 Capteurs intégrés en ligne d'échappement	39
II.4.1 Sonde lambda ou sonde à oxygène	40
II.4.2 Capteur NO _x	42
II.4.3 Capteur NH ₃	43
II.5 Conclusion.....	43

Référence.....	44
CHAPITRE III. Traitement des échantillons, techniques de caractérisations utilisées et optimisation du capteur	45
III.1 Introduction.....	46
III.2 Technique de caractérisations : Analyse par EDX et MEB.....	46
III.3. Analyse du capteur PSA.....	48
III.3.1 La résistance chauffante	48
III.3.2 L'isolation électrique.....	50
III.3.3 Les trous d'interconnexion et plots de soudures.....	53
III.3.4 Electrolyte solide – Zircone stabilisée à l'oxyde d'yttrium.....	53
Référence.....	60
CHAPITRE IV. Transistor HEMT GaN pour capteur de gaz	62
IV.1 Introduction.....	63
IV.2 Le nitrure de gallium.....	63
IV.2.1 Bande interdite	63
IV.2.2 Champ de claquage et champ critique.	64
IV.2.3 Mobilité des électrons.....	64
IV.2.4 Conductivité thermique, conductivité électrique, résistivité.....	65
IV.2.5 Densité de porteurs intrinsèques.	66
IV.2.6 Synthèse.....	67
IV.3 Le transistor HEMT GaN.....	68
IV.3.1Principe de fonctionnement.....	68
IV.3.2Principe de l'hétérojonction AlGa _N /Ga _N	69
IV.4 : Sensibilité de l'hétérostructure AlGa _N /Ga _N au NO, NO ₂ et NH ₃	70
IV.5 Conclusion	73
Référence.....	74
CHAPITRE IV. Pilotage informatique	75

V.1 introduction.....	76
V.2 Interface graphique sous Matlab.....	76
V.2.1 Vue d'ensemble.....	76
V.2.2 Connexion.....	77
V.2.3 Info défauts.....	77
V.2.4 Capteurs	78
V.2.5 Capteurs d'oxygène.....	79
V.2.6 Help.....	79

Remerciements

Ce stage a été réalisé au Laboratoire Institut d'électronique de microélectronique et de nanotechnologie.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrant Ali Soltani. Ses compétences scientifiques, ainsi que la confiance qu'il m'a témoignée au cours de ce stage. Les discussions avec lui m'ont toujours aidé à trouver une idée innovante, en particuliers, les idées pour le développement et l'amélioration de sensibilité des capteurs à base de transistor HEMT GaN aux gaz NO, NO₂ et NH₃.

Je remercie très chaleureusement mon encadrant Ali Ahaitouf pour leurs patiences, la pertinence de leurs conseils, et tout le temps qu'il m'a consacré ainsi que ses encouragements. Je veux que vous sachiez que vos élèves garderont toute leur vie un très bon souvenir de ces années d'étude.

Je tiens également à remercier Monsieur Nour-eddine Bourzgui Professeur à l'université de lille 1, pour sa disponibilité, ses précieux conseils et ses qualités humaines, Je leur suis très reconnaissant de l'intérêt qu'ils ont porté à mes travaux.

Je remercie sincèrement Madame Najia Es-Sbai et Monsieur Abdellah Mechqrane, professeurs à la faculté de science et technique Fès, qui me font l'honneur de juger ce travail.

Je remercie le personnel administratif, je tiens tout particulièrement à remercier Nora.

J'ai également une pensée pour mes collègues pour leur soutien durant la période de stage autant au niveau professionnel que personnel, et avec j'ai passé de bons moments.

Et rien ne serait aussi bien déroulé sans le soutien constant et chaleureux de tous les membres de ma famille ainsi que toutes les autres personnes qui sont chères.

Liste des figures

Figure 0.1 Photo de l'IEMN	
Figure 0.2 Description des axes de recherches du laboratoire	
Figure I.1 : Quantité des gaz polluants, en fonction de richesse air/carburant.....	
Figure I.2 : Normes européennes d'émissions de gaz polluants pour les motorisations diesel.....	
Figure I.3: Normes européennes d'émissions de gaz polluants pour les motorisations essence.....	
Figure I.4 : Comparatif des limites tolérées d'émission en Europe, au Japon et aux États-Unis.....	
Figure I.5 : Vue de la structure interne d'un pot catalytique.....	
Figure I.6: Schéma synoptique de principe de fonctionnement du catalyseur trois voix.....	
Figure I.7: Schéma synoptique de principe de fonctionnement du catalyseur deux voix	
Figure I.8: Injecteur.....	
Figure I.9 : Évolution des taux de conversion des polluants en fonction des variations de richesse autour de la stœchiométrie.....	
Figure I.10 : Fonctionnement du système SCR de réduction des NO _x par l'ammoniac, et emplacements des capteurs NO _x et NH ₃	
Figure II.1 : Schéma synoptique d'un capteur potentiométrique.....	
Figure II.2 : Structure d'un capteur d'oxygène ampérométrique avec un orifice de diffusion(a), ou une couche poreuse(b).....	
Figure II.3mécanisme de détection d'un capteur d'oxygène ampérométrique avec un trou en tant que barrière de diffusion.....	
Figure II.4 : Sonde lambda.....	
Figure II.5 : Réponse de la sonde lambda Nernstien en fonctionne du rapport air/carburant.....	
Figure II.6 : Réponse de la sonde lambda Non-Nernstien en fonctionne du rapport air/carburant...	
Figure II.7 : Schéma interne de la sonde lambda.....	
Figure II.8 : Capteurs NO _x et unité de contrôle électronique.....	
Figure II.9 : Vue interne d'un capteur NO _x	
Figure II.9 : Schéma de principe d'un capteur NO _x (Exemple du capteur développé par NGK).....	
Figure II.10 : Capteur NH ₃ , développé par Delphi.....	
Figure II.11 : Réponse d'un capteur NH ₃ , en fonctionne du rapport air/carburant et de la concentration de O ₂ et H ₂ O.....	
Figure II.12 : Schéma de principe d'un capteur NH ₃ (Exemple du capteur développé par Delphi)..	

Figure III.1 Projection d'un électron sur un échantillon, produit des rayons X. ....	.....
Figure III.2 : Premier spectre de fluorescence X obtenu par W.H. Bragg et W.L. Bragg en 1913..	.....
Figure III.3 : Transitions électroniques dans un atome de calcium. La retombée d'un électron..... d'une couche supérieure vers une couche inférieure implique que cette dernière a perdu préalablement un de ses électrons.....	.....
Figure III.4 Vue du poste de traitement.....	.....
Figure III.5 Schéma synoptique de la résistance chauffante.....	.....
Figure III.6 Spectre EDX obtenu sur une coupe transversale du capteur NGK.....	.....
Figure III.7 : Distribution de la température sur la partie sensible de la résistance chauffante pour différentes températures de consignes (450 °C, 50 °C, 550 °C).....	.....
Figure III.8 : Photo MEB d'une vue en coupe du capteur de gaz NGK. On peut constater que l'épaisseur d'une couche d'alumine représente deux fois celle de la résistance chauffante.....	.....
Figure II.9 : Image de la couche protectrice à base d'alumine sur les deux côtés de la résistance chauffante.....	.....
Figure III.10 Image et spectre EDX des éléments de la résistance chauffante.....	.....
Figure III.11: Spectre EDX de la couche de protection.....	.....
Figure III.12 Image et spectre EDX des éléments de la couche de protection extérieure. ....	.....
Figure III.13 : Schéma synoptique du contact entre le via-hole de liaison et ligne de conduction sans (a) et (b) avec la couche supplémentaire appliquée.....	.....
Figure III.14 : Schéma synoptique de différentes structures de zircone stabilisée.....	.....
Figure III.15 Diamètre critique des grains pour la transformation zircone monoclinique/zircone quadratique en fonction de la température.....	.....
Figure III.16: Diagramme de phase binaire du système ZrO_2 - Y_2O_3.....	.....
Figure III.17: Image et spectre EDX, de la surface.....	.....
Figure III.18 : Schéma synoptique, d'une sonde lambda.....	.....
Figure III.19 : ligne conductrice et plots de soudure.....	.....
Figure III.20 Structure d'une sonde lambda.....	.....
Figure IV.1 : Bande interdite en fonction de la température pour différents semi-conducteurs.....	.....
Figure IV.2 : Champ de claquage en fonction de la largeur de la bande interdite pour différents matériaux Semi-conducteurs.....	.....

Figure IV.3 : Evolution de la concentration intrinsèque des porteurs pour différents semi-conducteurs en fonction de la température.....

Figure IV.4 Influence des propriétés matériaux sur les performances en puissance aux fréquences microondes.....

Figure IV.5 Structure standard d'un transistor AlGa_N/Ga_N HEMT sur substrat SiC.....

Figure IV.6 : Structure de bande d'une hétérojonction AlGa_N/Ga_N.....

Figure IV.7 : Structure de bande d'une hétérojonction AlGa_N/Ga_N hors-équilibre.....

Liste des tableaux

Tableau III - 1: Classification des électrolytes solides en fonctionne des ions qui se déplacent dans le système.....	
Tableau III.2 Caractéristiques mécaniques d'une alumine cristallisée et de deux zircons partiellement stabilisées.....	
Tableau III.3: Ingrédients métallique de l'encre Pt (ESL 5545) et Au (ESL 8880-H).....	
Tableau III.4: Mobilité des électrons de différents semi-conducteurs.....	
Tableau III.5 : Conductivité thermique des différents matériaux.....	

Introduction générale

Depuis 70 ans, la pollution due aux transports a fortement augmenté avec le trafic automobile, le développement de l'industrie lourde et autre « évolutions technologiques ». Une des conséquences de cette pollution a été et l'est davantage aujourd'hui, l'augmentation de pathologies respiratoires (asthme...), le dépérissement végétal (pluies acides) et la dégradation des bâtiments. Pour y remédier, les gouvernements européens (mais pas seulement) sont fortement impliqués pour fixer des valeurs limites pour les principaux polluants: CO, HC, NO_x et les particules fines (pour les véhicules diesel: EURO1 en 1993 impose une quantité de 2720 mg/km de CO et en 2016 avec EURO6, cette valeur tombe à 500mg/km). Ces normes ont obligé les constructeurs automobiles à construire des voitures moins polluantes et donc de mettre en place des systèmes capables de « dépolluer les lignes d'échappement » et des systèmes de surveillance de la qualité de l'air. Ces dispositifs détectent les niveaux de pollution en temps réel afin d'y remédier. Cela permet en même temps d'améliorer l'efficacité de fonctionnement des moteurs.

Le projet CLEANING, constitué de quatre partenaires expérimentés et complémentaires : Georgia-Tech Lorraine CNRS-UMI, Peugeot PSA, IEMN-CNRS, et LN2-CNRS-UMI, a pour objectif de réduire de manière significative la pollution automobile via un capteur capable de détecter et mesurer les concentrations des gaz d'échappement, **NH₃ et NO_x (NO, NO₂)**. Ces capteurs devront rétroagir en temps réel sur le rendement moteur et être opérationnels dans un environnement à hautes températures et supporter les vibrations mécaniques.

Mon stage est s'effectué au sein du département Hyperfréquences & Semi-conducteurs, dans l'équipe « Composants et Dispositifs de Puissance » du centre de recherche IEMN (Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie). Ce dernier s'est impliqué depuis plus de vingt années dans l'étude et le développement des dispositifs de puissance en hyperfréquence à base de transistors HEMT GaN et depuis peu, sur l'élaboration de capteur à base de nitrure de galium (GaN). GaN constitue un matériau de choix pour réaliser la fonction selon les contraintes imposées par le cahier des charges.

L'objectif de ce travail est d'étudier les principes et les techniques pour la détection de gaz à base d'électrolyte solide, en vue d'améliorer la sélectivité, la sensibilité et la fiabilité de ces capteurs. Au cours de ce stage, il m'a été demandé d'analyser en salle blanche, une sonde lambda NO_x intégré dans les automobiles Peugeot.

Dans ce contexte, ce rapport est structuré comme suit :

- Un premier chapitre décrit la problématique de la pollution automobile, l'évolution des normes européenne et les systèmes de dépollution intégrés dans la ligne d'échappement. Nous terminerons ce chapitre par une description et le rôle des capteurs de gaz en ligne d'échappement.
- Le deuxième chapitre traite des capteurs les plus utilisés à ce jour dans les lignes d'échappement, à savoir le capteur électrochimique lequel est constitué d'un électrolyte solide type ZrO₂ et de deux électrodes métalliques, ainsi que le mode de fonctionnement et leurs caractéristiques physico-chimique.

-Le troisième chapitre présente une analyse détaillée en EDX d'un capteur intégré dans les automobiles Peugeot. Ce dispositif se base sur le capteur potentiométrique et ampérométrique et permet de mesurer à la fois O_2 et NO_x .

- Le quatrième chapitre propose une présentation générale des principaux paramètres physiques et électroniques qui témoignent des réelles potentialités des transistors de technologie GaN. Dans ce même chapitre, la sensibilité de transistor HEMT ALGaN/GaN au NO, NO₂ et NH₃, sera traité.

- Le cinquième et dernier chapitre de ce stage porte sur la conception d'une interface graphique qui permet de dialoguer avec un véhicule dans le but de faire du diagnostic et lire la réponse des capteurs intégré dans la ligne d'échappement.

Chapitre 0

Présentation du laboratoire.

Dans ce chapitre nous présenterons l'organisme d'accueil.

I – L'Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie

L'IEMN ou Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie a été créé le 1^{er} Janvier 1992 par le regroupement d'un centre de recherche, du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), de deux universités (Lille1 et Valenciennes Hainaut Cambrésis), de l'Institut Supérieur d'Electronique et du Numérique (ISEN) et l'Ecole Centrale de Lille (ECL). L'IEMN se situe sur le campus de l'Université de Lille des Sciences et Technologie de Lille à Villeneuve D'Ascq.



Figure 0.1 Photo de l'IEMN

Les fondateurs de l'IEMN avaient pour objectif d'avoir un seul et même laboratoire de recherche où seraient groupées toutes les recherches dans le domaine de l'électronique et constituer un pôle reconnu au niveau national et international. En passant de la physique à l'instrumentation et coupler autant que possible les aspects théoriques aux applications.

Ainsi ce laboratoire du Nord-Pas de Calais s'est ainsi étendu à une taille raisonnable en comparaison à d'autres complexes européens et avec trois missions principales:

- la recherche au meilleur niveau européen et mondial

- la formation aux niveaux masters et de doctorats

- la valorisation de la recherche et le transfert de connaissance au bénéfice des sociétés et de l'économie notamment locale.

Un des objectifs de l'IEMN est de répondre aux besoins des industriels nationaux avec qui elle est en partenariat privilégié. Ceci dans le but d'intégrer de nouvelles technologies, de développer des procédés innovants et de développer de nouveaux produits ou d'en améliorer les

performances.

Les domaines de compétences de l'IEMN sont:

La micro-électronique

L'optoélectronique

L'acoustique et les ultrasons

Les hyperfréquences et l'instrumentation

Les micro-capteurs thermiques

le traitement du signal et des images

la micro technologie: micro capteurs et microsystèmes

Les télécommunications

et tout ce qui touche à la compatibilité électromagnétique

L'IEMN est constitué d'un bâtiment central et de trois antennes : le principal pôle se situe à Lille1, les deux autres à l'ISEN et à Valenciennes. Le bâtiment central est composé de bureaux, de salles blanches et de laboratoires, le tout sur une surface de 11 000 m². Dans ce bâtiment, d'importants moyens sont mis à disposition. On retrouve en effet une centrale de technologie, une centrale de caractérisation hyperfréquences et autre, une plateforme de microscopie en champ proche et une plateforme Telecom.

Le laboratoire a un effectif de plus de 500 personnes (professeurs et maître de conférences, chercheurs CNRS, ingénieurs, techniciens, doctorants, post-doctorants, stagiaire de masters et autres), un budget de plusieurs millions d'euros de fonctionnement. Chaque année, 35 à 40 thèses sont soutenues, 300 articles dans des journaux et communications dans des conférences internationales et plus de 10 brevets sont publiés.

Au sein de cet institut on peut distinguer cinq axes de recherche comme le montre la figure 0.2:

+ Axe 1	+ Axe 2	+ Axe 3	+ Axe 4	+ Axe 5
Matériaux et nanostructure	Microtechnologie et microsystème	Micro et opto électronique	Circuits et systèmes de télécommunications	Acoustique
D. Stevenard	L. Buchailot	G.Dambrine	P.A. Rolland	B. Nongailard
EPIPHY X. Wallart	BIOMEMS V. Senez	PUISSANCE J.C. Dejaeger	CSAM P.A. Rolland	ACOUSTIQUE A.C. Hladky
NCM D.Vuillaume	NAM6 B.Legrand	ANODE F.Danneville	MITEC T. Lasri	ULTRASONS M. Ouafouh
Physique C.Delerue	AIMAN P. Pernod	DOME D. Lippens	TELECOM F.X. Coudoux	AIMAN Pernod
	MITEC T. Lasri	Microélec Si E. Dubois	TELICE M.Lienard	
		OPTO D. Decoster	Microélec Si E. Dubois	
		SILPHYDE J.L. Thobel		
		EPIPHY X. Wallart		

Figure 0.2 Description des axes de recherches du laboratoire

Ces cinq axes de recherches regroupent les différents domaines de compétences qui ont été cités auparavant. Pour ma part, mon stage s'est déroulé dans l'équipe Composants et Dispositifs Microondes de Puissance que l'on retrouve dans l'axe 3 sous Micro- et optoélectronique.

Les actions de recherche, regroupées dans cet axe, correspondent aux études sur les composants avancés dans les domaines de la micro et nanoélectronique, de l'optoélectronique et de la photonique. Nous sommes aujourd'hui encore loin d'atteindre les limitations technologiques concernant les dimensions, la diversité des matériaux et des architectures mais aussi les aspects de co-intégration en général. Par ailleurs, ce secteur de recherche est en pleine phase de mutation où les différentes disciplines (électronique, optique, électromagnétisme, chimie, biologie) fusionnent pour générer de nouvelles avancées. Ces actions, résolument orientées vers le moyen et le long terme, répondent parfaitement aux critères stratégiques et économiques nationaux et européens. En effet, l'ensemble de ces travaux est soutenu par des programmes de recherche nationaux (ANR PNANO, TELECOM), européens (FP6&7, ESA, Marie-Curie et autres...) voire par la Délégation pour l'Armement française (DGA).

L'activité scientifique du groupe est basée sur la simulation, les procédés technologiques et la caractérisation de dispositifs de puissance basée sur des semi-conducteurs à large bande interdite. L'activité est positionnée entre des sujets prospectifs et des projets fortement en lien avec les besoins de l'industrie. La majeure partie de l'activité est basée sur le nitrure de gallium et les hétérostructures, cependant des matériaux plus avancés tels que Al (B,Ga)N ou le diamant sont étudiés.

Le principal sujet concerne le développement des transistors de puissance micro-ondes et les circuits à base de GaN. Dans ce domaine de recherche très compétitif, des résultats à l'état de l'art ont été obtenus par le groupe malgré la concurrence des laboratoires les plus réputés au monde lesquels se situent aux Etats-Unis d'Amérique et au Japon.

Les appareils de mesures en hyperfréquence et de caractérisation de dispositifs à semi-conducteurs sont largement utilisés dans tous les projets scientifiques en collaboration avec des industriels et des universités française ou européenne lesquels prouvent l'expertise et la reconnaissance du groupe vis-à-vis de la concurrence. Il est donc nécessaire d'innover et de toujours repousser les limites dans ces domaines pour rester parmi les meilleurs.



Référence

1. Site web d'Institut d'électronique de microélectronique et de nanotechnologie
<http://www.iemn.fr/>. 1-4-2016
2. https://fr.wikipedia.org/wiki/Institut_d%27%C3%A9lectronique_de_micro%C3%A9lectronique_et_de_nanotechnologie.2-4-2016
3. <http://physique.iemn.univ-lille1.fr/>.2-4-2016

Chapitre I

Description du contexte.

Dans ce premier chapitre, les principaux polluants, leurs sources et leurs impacts sont décrits. La combustion des carburants par les moteurs automobiles conduit à l'émission de gaz toxiques CO, HC, NO_x, et nécessite de développer des produits qui permettent de faire respecter les réglementations d'émission de gaz polluants en vigueur. Nous décrivons ensuite les différents systèmes de dépollution à base de métaux noble, intégrés dans des lignes d'échappements de véhicules essence et diesel.

Chapitre I. Description du contexte	19
I.1 La problématique	20
I.2 les principaux polluants.....	20
I.3 Les normes européennes d'émissions de gaz polluants.....	21
I.4 Les systèmes de dépollution.....	23
I.4.1 Catalyseur trois voies.....	24
I.4.2 Catalyseur d'oxydation diesel.....	25
I.4.3 Traitement des oxydes d'azote.....	25
I.5 La nécessité d'un capteur de gaz.....	27
I.6 Conclusion.....	29
Référence.....	30

I.1 La problématique

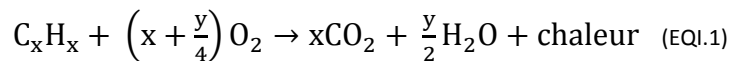
L'automobile est devenue le principal responsable des émissions des gaz toxiques (40% de l'émission total de NO_x), à l'échelle internationale. Selon une estimation de l'organisation mondiale de la santé, trois millions de personnes meurent chaque année à cause de la pollution et 4,9 % à 11 % de ces décès ont entre 60 et 69 ans.

Les polluants sont classés en PR «polluants réglementés » ou PNR, «polluants non-réglémentés». La nature et la quantité de polluants émises dépendent du type de motorisation (essence ou diesel), du rapport air/carburant dans la combustion, du pot catalytique utilisé et du régime moteur.

Les lois en vigueur imposent une limite pour la nature et la quantité de gaz polluants. Cela s'est traduit pour les constructeurs automobiles par l'intégration de post de traitement capable de dépolluer les lignes d'échappement pour chaque type de gaz polluants. Le bon fonctionnement de ces systèmes nécessite l'intégration de capteur de gaz comme la sonde à oxygène (cf. chapitre 2).

I.2 Les principaux polluants

La réaction de combustion idéale pour les carburants de type essence ou diesel est:



Lorsque les règles de stœchiométrie sont respectées, les gaz d'échappement composés de dioxyde de carbone CO₂ n'est pas pris en compte dans les normes car il ne s'agit pas d'un gaz polluant direct. Respirer du CO₂ n'est pas toxique pour l'homme et les animaux. La quantité de CO₂ produite par un moteur dépend uniquement de la quantité de carburant utilisée.

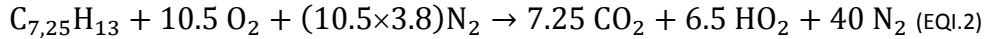
La plupart des pays européen sont adopté un système appelé Etiquette-Energie et concerne les émissions de CO₂ des véhicules neufs. En France, l'émission de CO₂ doit être inférieure à 100 g/km en classe A et 152g/km en classe D. Des taxes supplémentaires sont ajoutées pour les véhicules dont les émissions de CO₂ sont supérieures à 200g/km.

La combustion théorique (1) du carburant dans un moteur thermique produit uniquement de l'eau à l'état de vapeur (H₂O) et de la chaleur. Cependant, la réaction qui se produit réellement ne respecte pas les règles de stœchiométrie à cause du changement rapide du régime moteur. La qualité de la combustion dépend du rapport air/carburant et du type d'allumage (commandé ou par compression). La topologie mécanique du moteur et le régime moteur sont des paramètres clés dans la formation des gaz nocifs.

Le monoxyde de carbone (CO) et les hydrocarbures (HC) sont le résultat d'une combustion incomplète du carburant.

D'autre part, l'azote contenu dans l'air réagit avec l'oxygène à haute température et produit des oxydes d'azote NO_x [1]. Un mélange air/carburant supérieure à 1 produit du monoxyde de carbone et des hydrocarbures, alors qu'un mélange pauvre en carburant c'est-à-dire un rapport air/carburant inférieure à 1, produit des oxydes d'azote **Figure I.1.**

L'équation (EQI.2) est relative à la combustion du diesel.



L'équation (EQI.3) est relative à la combustion de l'essence :

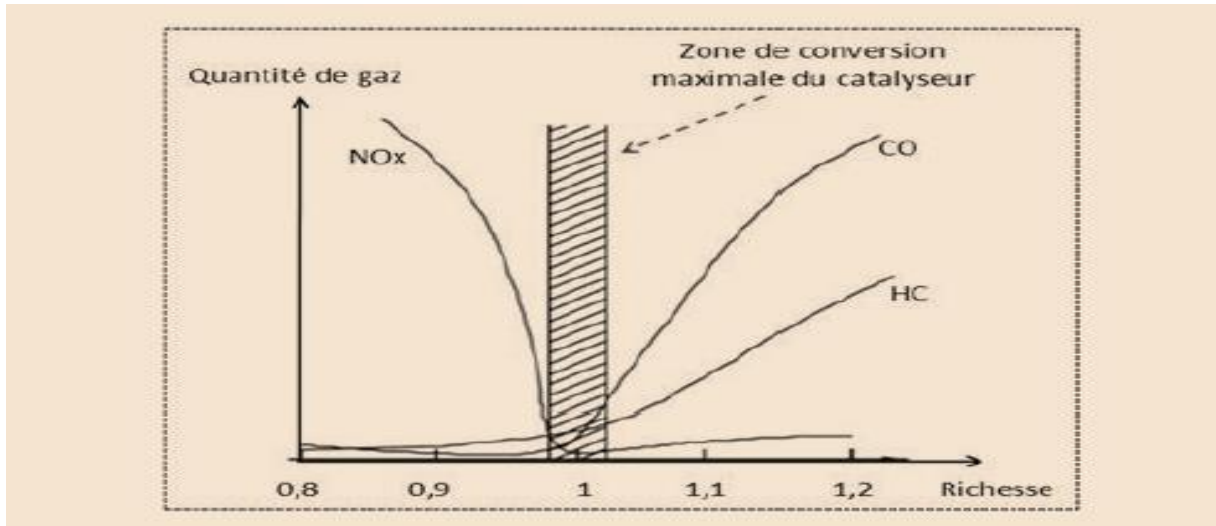
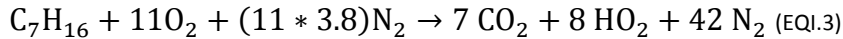


Figure I.1: Quantité des gaz polluants, en fonction de richesse air/carburant.

La proportion d'air $\lambda = 1/\text{richesse}$ est égale à 1, cas d'un mélange stœchiométrique, dont la combustion d'un Kilo de carburant nécessite en moyenne 14.5Kg d'air,

Les moteurs essence engendrent des gaz polluants différents des moteurs diesel, car les moteurs essence fonctionnent dans des conditions proches de la stœchiométrie.

I.3 Les normes européennes d'émissions de gaz polluants

Plusieurs gaz sortent des lignes d'échappements, mais seule une petite poignée est réglementée à l'heure actuelle. Les normes d'émissions de polluants ne concernent actuellement que le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures (HC), les oxydes d'azote (NO_x) et les particules, les normes des véhicules à moteur essence (allumage commandé) sont différentes des véhicules à moteur diesel (allumage par compression).

Véhicules à moteur Diesel :

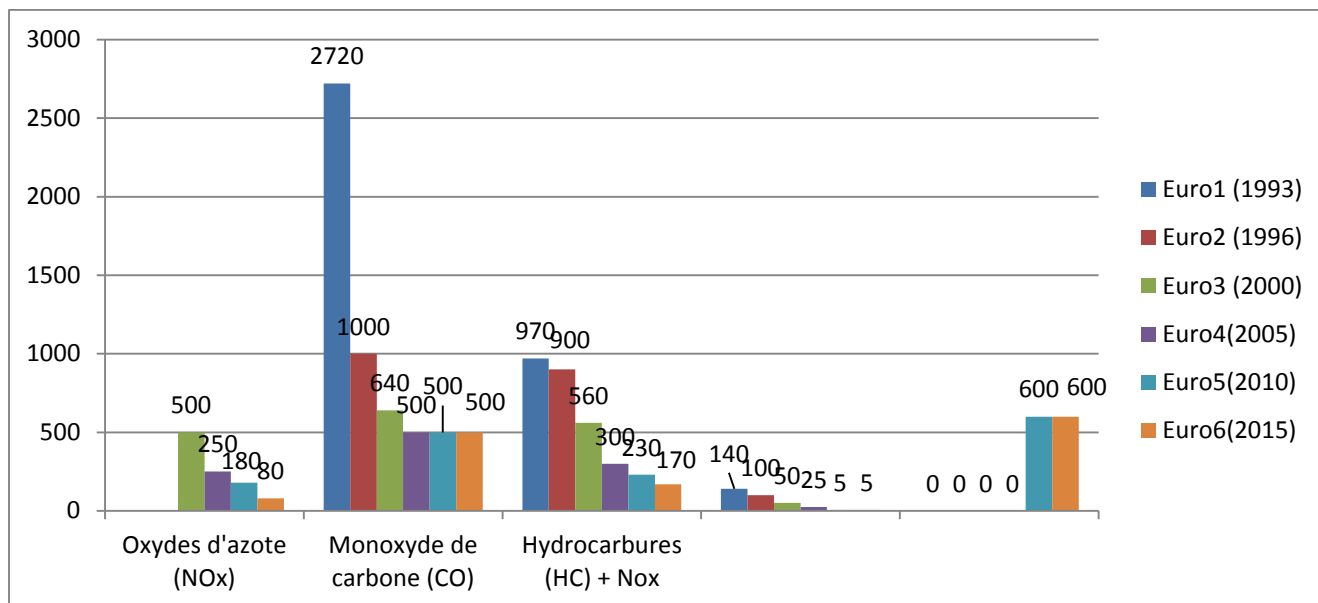


Figure I. 2 : Normes européennes d'émissions de gaz polluants pour les motorisations diesel en mg/km

Véhicules à moteur Essence :

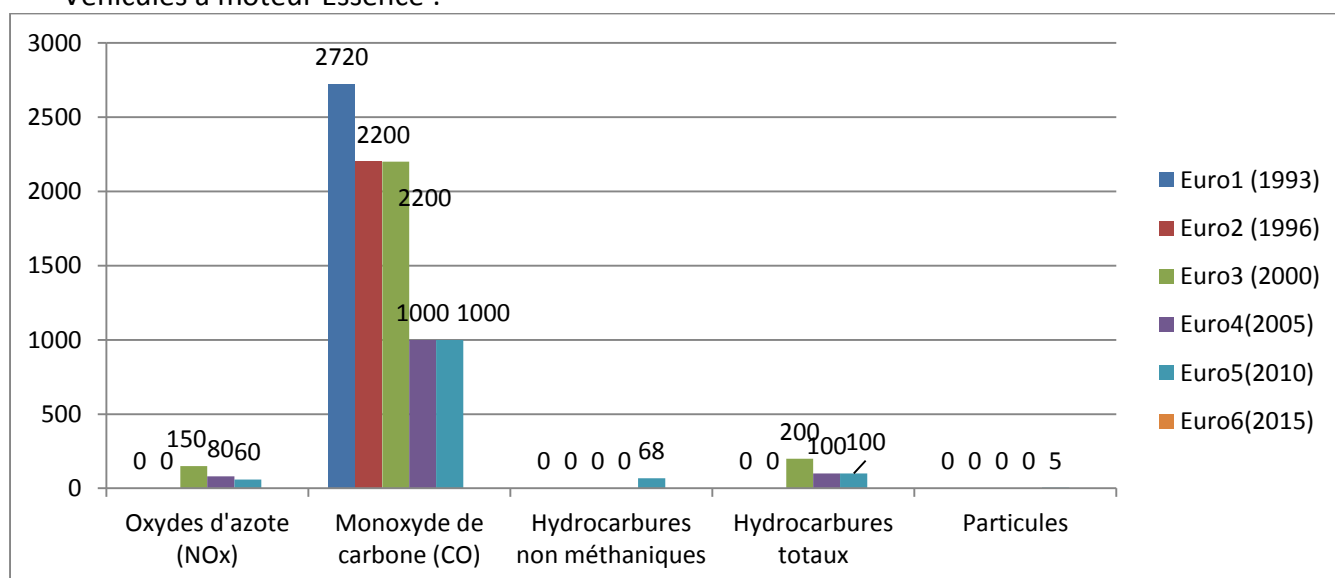


Figure I. 3: Normes européennes d'émissions de gaz polluants pour les motorisations essence en mg/km.

Les limites tolérées des émissions en mg/Km, mesurées pendant une durée de vingt minutes, en deux phase, phase conduit normal dit conduit typée « ville », et une phase de conduit plus rapide typée « route », dont l'objectif est de mesurer l'émission des gaz dans différente situation. Les normes de pollution change d'un pays à un autre figure I.4, Etats-Unis, la Californie était le premier état ayant mis en place des lois drastiques sur les émissions de gaz polluants figure I.3.

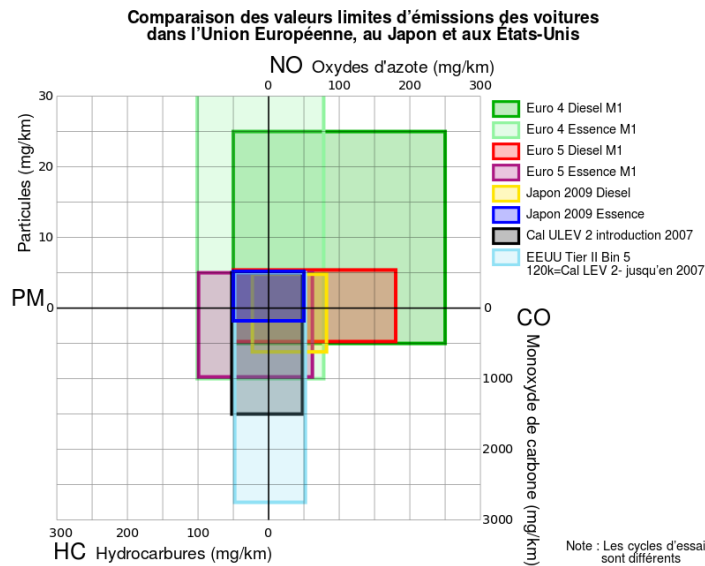


Figure I.4: Comparatif des limites tolérées d'émission en Europe, au Japon et aux États-Unis.

Polluants non réglementés

Les normes européennes non réglementés concernent un certain nombre de polluants parmi lesquels, le dioxyde de soufre (SO₂), dû à de faibles quantités de soufre dans les carburants, Ozone O₃ résultat d'action du rayonnement ultraviolet solaire sur les NO_x et les COV (Composés organiques volatiles), et CH₄(Méthane) un gaz non nocif, mais très actif dans l'effet de serre.

Les COV sont libérés lors de l'évaporation des carburants des lignes d'échappement. Ils ont un grand effet sur la capacité respiratoire, plusieurs familles de polluants font partie des COV, on y trouve par exemple:

Les BTEX (benzène, toluène, éthyle benzène), autrement appelés HAM (Hydrocarbures aromatiques monocycliques) et Les HAP (Hydrocarbures aromatiques polycycliques), notamment le benzo(a)pyrène, Les aldéhydes, dont le formaldéhyde, polluant principalement relevé en air intérieur

I.4 les systèmes de dépollution

Vu la nécessité de contrôler les émissions automobiles et pour mieux respecter l'environnement et répondre aux normes internationales en matière de dépollution, les constructeurs automobile intègrent, dès les années 1980, des systèmes de dépollution et des techniques, pour favorisé la combustion plus complète de carburant de sorte qu'il y a moins de sous-produits, le premier système appelé pot catalytiques permet de transformer simultanément, très vite et à la température la plus basse (250 à 1000 °C) les gaz polluants en gaz inoffensifs.

Le pot catalytique

Le pot catalytique situé dans la ligne d'échappement, est constitué d'une enveloppe en acier inoxydable, d'un isolant thermique et des supports ou nid d'abeilles en platine ou le palladium, chaque support constitué de nombreux canaux (62 canaux/cm²) Fig I.5.



Figure I.5 : Vue de la structure interne d'un pot catalytique.

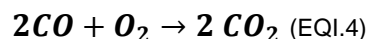
Le platine et rhodium, son utilisés comme catalyseurs pour d'augmenter la vitesse des réactions chimique, les hydrocarbures, le monoxyde de carbone, et dioxyde d'azote passés par le catalyseur et transformer en dioxyde de carbone, eau et azote. Un pot catalytique constitué de 3 à 7 g de platine et de 0,5 à 1,5 g de rhodium, car sont des métaux coûteux.

Les moteurs essence et diesel n'utilisent pas même catalyseur en raison de la différence entre les polluants émis.

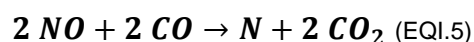
I.4.1 catalyseur trois voies :

Les catalyseurs dits « trois voies» (pot d'oxydation et de réduction), intégrés dans les véhicules essence figure I.5, il provoque deux réactions d'oxydation et une réaction de réduction les monoxydes de carbone est transformés en dioxyde de carbone (EQI.4), Oxydes d'azote transformés en dioxyde de carbone et d'azote (EQI.5), hydrocarbures transformés en eau et dioxyde de carbone (EQI.6).

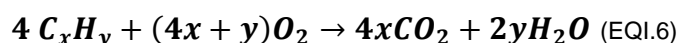
Les monoxydes de carbone sont transformés en dioxyde de carbone



Les oxydes d'azote sont transformés en dioxyde de carbone et d'azote



Et les hydrocarbures sont transformés en eau et dioxyde de carbone



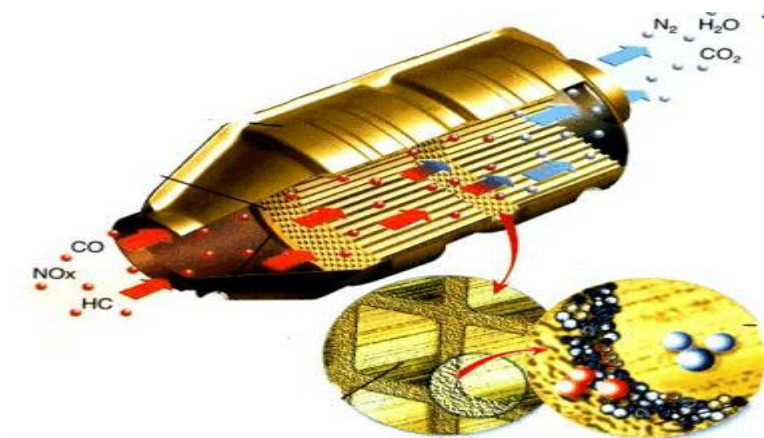


Figure I.6: Schéma synoptique de Principe de fonctionnement du catalyseur trois voies.

I.4.2 catalyseur d'oxydation Diesel.

Les catalyseurs automobiles intégrés dans les moteurs diesel visent à convertir le monoxyde de carbone (CO) et les hydrocarbures imbrûlés (HC) en dioxyde de carbone (CO₂) et en eau (H₂O), car les moteurs diesel fonctionnent en excès d'air on parle alors de fonctionnement en régime pauvre, le catalyseur utilisé dit « deux voies » ou Catalyseur d'Oxydation Diesel » (DOC) Figure I.7.

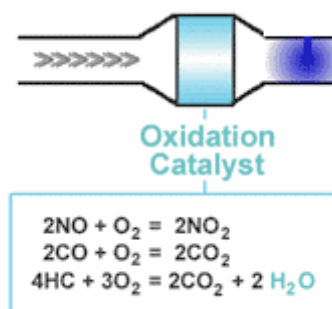


Figure I.7 : Schéma synoptique du principe de fonctionnement de catalyseur deux voies.

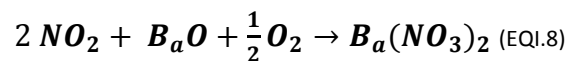
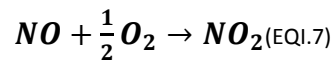
La réaction d'oxydation nécessite une température minimum de 250°C, ce qui explique que les catalyseurs peu efficace sur des petits trajets. Des nouvelles améliorations ont été apportées par l'intégration d'un système de réchauffage électrique ou hybrid-catalytique.

I.4.3 traitement des oxydes d'azote

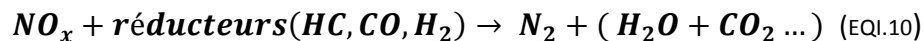
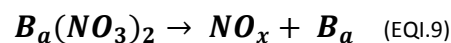
Les constructeurs automobiles développent plusieurs systèmes de réduction de NO_x pour les moteurs diesel, on trouve la réduction sélective des NO_x, cette technique consiste à introduire

un agent réducteur (ammoniac NH₃, ou hydrocarbures HC) en milieu oxydant, en amont d'un catalyseur SCR afin d'accélérer la réduction de NO_x en N₂.

Deuxième technique Le piège à NO_x, se décompose en deux phase, la première phase cas de fonctionnement normale du moteur diesel (mélange pauvre), les oxydes d'azote convertis en dioxyde d'azote la réaction accélérée par le platine EQ7, ensuite le stockage du NO₂ sur le baryum sous la forme du nitrate de baryum Ba(NO₃)₂ EQ8,



Deuxième phase c'est le déstockage: La réduction s'effectue grâce aux molécules de monoxyde de carbone (CO) et aux hydrocarbures imbrûlées qui se trouvent dans les gaz d'échappement, c'est pour cela le moteur diesel adopte, pendant quelques instants, le fonctionnement d'un moteur à essence (mélange riche) pour produire une quantité important de CO et HC, au début le nitrate de baryum réduire en baryum et dioxyde d'azote (EQ9), puis la réduction en azote, CO₂, et H₂O(EQ10).



La technologie adoptée dans notre cadre d'étude est la réduction des oxydes d'azote par NH₃-SCR, la technique permet de convertir jusqu'à 85% des oxydes d'azote. Le système se compose d'un réservoir contenant l'AdBlue composé de 32,5% d'urée et de 67,5% d'eau, l'injecteur permet de distribuer de manière homogène urée au sein de la ligne d'échappement, l'urée se transforme, grâce à la chaleur des gaz, en ammoniac (NH₃) EQI.11.

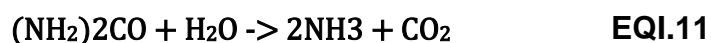


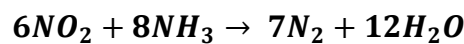
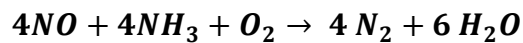
Figure I.8 : Injecteur.



L'injecteur Figure I.7; est contrôlé par le calculateur, pour gérer avec précision la quantité d'urée a injecté dans la ligne d'échappement en fonction de la température des gaz et la concentration des NO_x et NH_3 à l'entrée et la sortie de catalyseur SCR.

Le catalyseur a pour rôle d'accélérer les réactions chimiques (entre NO_x et NH_3) nécessaires au traitement des oxydes d'azote EQI.12.

EQI.12



I.5 la nécessité de capteur de gaz

Nécessité d'un capteur d'oxygène :

Les réactions d'oxydation et de réduction sont contradictoires, elles ne se produisent simultanément que si la quantité d'air lors de la combustion est optimale, le catalyseur fonctionne correctement (Figure I.9) sur une étroite fenêtre, d'où l'utilité d'un capteur de gaz qui renseigne le calculateur de gestion du moteur sur la quantité de carburant à injecter.

Le capteur installé dans le système d'échappement, permet de mesurer la teneur en oxygène, les informations envoyées vers un calculateur, qui traite et analyse les données pour obtenir le rapport air / carburant proche de stœchiométrie.

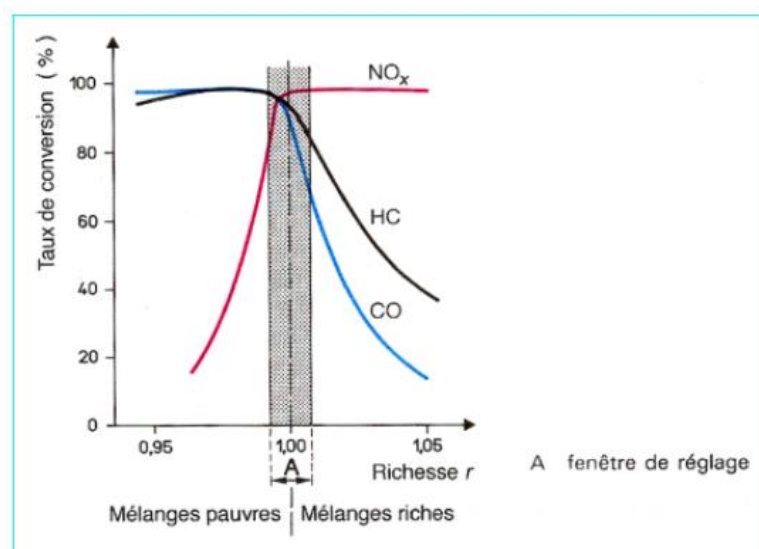


Figure I.9 Évolution des taux de conversion des polluants en fonction des variations de richesse autour de la stœchiométrie.

Nécessité d'un capteur NO_x et capteur NH_3 :

Il y a eu une demande croissante pour détecter NO_x (NO et NO_2) dans les lignes d'échappements automobiles, pour contrôler l'efficacité du catalyseur SCR envers les NO_x .

Au cours du temps de combustion de carburant, la quantité de NO_x mesurée par le capteur utilisé par le calculateur afin de préciser le dosage de l'urée à injecter, un deuxième capteur NO_x intégré dans la sortie de catalyseur SCR (figure I.10) pour vérifier l'efficacité de conversion de NO_x vers N_2 .

L'ammoniac étant un gaz nocif pour l'homme, utilisé pour la décomposition de NO_x , mais également le dosage de l'urée dont une quantité trop importante pourrait entrainer des fuites de NH_3 en sortie de la ligne échappement. L'utilisation de capteurs de NH_3 pourra donc s'avérer utile en vue de garantir le respect de dosage efficace.

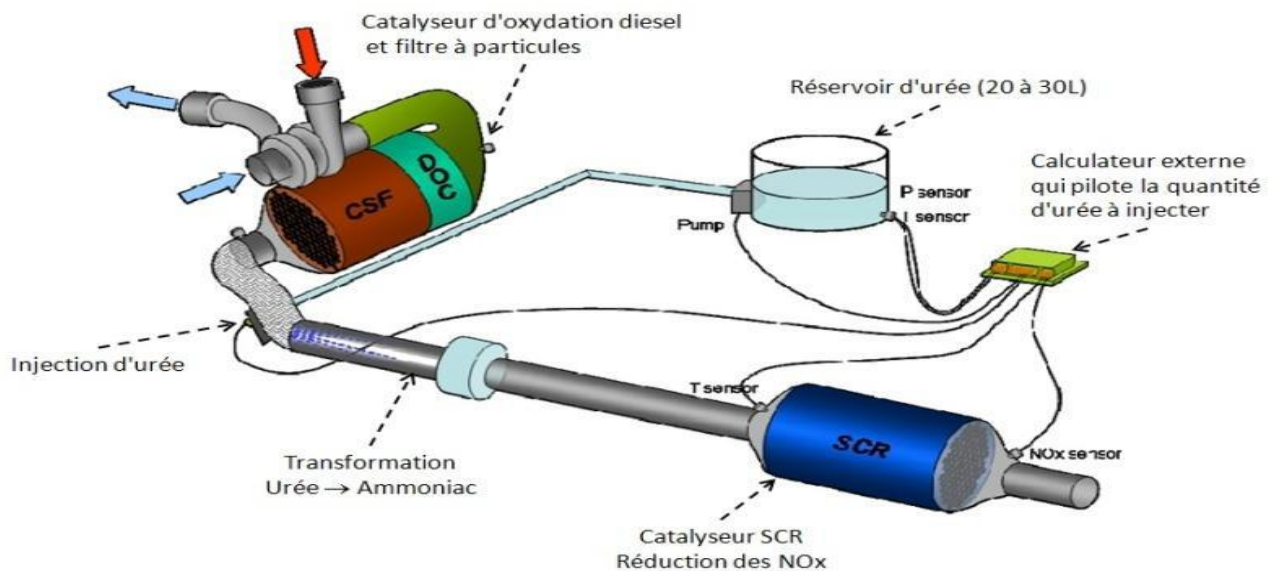


Figure I.10 : Fonctionnement du système SCR de réduction des NO_x par l'ammoniac, et les emplacements des capteurs NO_x et NH_3 .

Conclusion du chapitre I

L'automobile est devenue le principal responsable de pollution, le taux des quantités des gaz injectés en croissance à cause de l'accroissement du véhicule automobile. Les polluants contribuent à l'augmentation des problèmes, pollution atmosphérique, responsable chaque année du décès de milliers de personnes en France seulement.

Le gaz carbonique, monoxyde de carbone, oxyde d'azote (NO_x) et les particules sont les principaux polluants toxiques injectés par les automobiles.

Pour respecter les réglementations et les lois, les constructeurs automobiles, doivent améliorer leurs performances aérodynamiques ainsi que le fonctionnement des moteurs et leur rendements tout en respectant au plus près les lois de la stœchiométrie, pour cela un ensemble d'outils de dépollution ont été développés pour les différents types de véhicules. Pour les moteurs essence on trouve catalyseur trois voies permet de décomposer Monoxyde de carbone Oxydes d'azote (NO_x), et Hydrocarbure HC, pour les moteurs diesel; catalyseur deux voies permet de décomposer Monoxyde de carbone et Hydrocarbure HC.

Un ensemble de techniques ont été développées pour les moteurs diesel afin de décomposer les NO_x : le piège à NO_x , utilisé dans les automobiles Renault, dans les véhicules Peugeot on trouve la réduction des oxydes d'azote par NH_3 -SCR, qui permet de convertir les oxydes d'azote par ammoniac (NH_3).

Malgré ces techniques toujours des quantités importantes injectées chaque jour, à cause de la qualité de fonctionnement de ses systèmes de dépollution.

Référence

1. Atlas Technique, Renault.
http://www.renault.com/fr/innovation/au-coeur-de-la-technique/documents_without_moderation/atlasfr.pdf
2. La Techno de A à Z, Renault.
<http://www.renault.com/fr/innovation/au-coeur-de-la-technique/pages/la-techno-de-a-a-z.aspx>
3. Robert Bosch GmbH, DE2211585 Allemagne, 13 09 1973.
- 4.. FLORENT. Modélisation de la combustion d'un moteur essence 2010/2011
5. la combustion des carburants. Les lois physiques de l'automobile www.adilca.com.
6. N. Miura, G. Lu et N. Yamazoe, Sensors and Actuators B 52, 1_2 (1998) p. 169
7. M. Miyayama et H. Yanagida , Journal of Ceramical Society Japan 104 (1996) p. 995
8. Union des Industries Chimiques, pots catalytiques et dépollution automobile.
9. Yvan Reneme, post traitement catalytique des gaz de combustion de moteurs thermiques fonctionnant au gaz naturel. 2011.
10. Anne-Flore Cosseron, Evaluation et traitement des polluants émis par un moteur thermique fonctionnant avec des biocarburants. 2013.
11. Liliana masdrag. Activité et sélectivité de catalyseurs de stockage-réduction des Nox pour la dépollution automobile. Influence de la nature des réducteurs présents. 2012.
12. Arthur valleron, étude et optimisation de capteurs de gaz a base de dioxyde d'étain (sno₂) EN conditions d'une ligne d'échappement automobile. 2011.
13. Jing Gao. Etude et mise au point d'un capteur de gaz pour la détection sélective de Noxen pot d'échappement automobile. 2014.

Chapitre II

Capteur électrochimiques, et contrôle des lignes d'échappement.

Dans la suite, on va présentée les différents capteurs intégrés dans la ligne d'échappement : sonde lambda, capteur NO_x et capteur d'ammoniac.

CHAPITRE II. Capteur électrochimique et contrôle des lignes d'échappement.....	31
II.1 Introduction.....	32
II.2 Capteur potentiométrique	33
II.3 Capteur ampérométrique.....	35
II.4 Capteurs intégrés en ligne d'échappement	39
II.4.1 Sonde lambda ou sonde à oxygène	40
II.4.2 Capteur NO _x	42
II.4.3 Capteur NH ₃	43
II.5 Conclusion.....	43
Référence.....	44

II.1 Introduction :

Les premiers capteurs des gaz introduits en ligne d'échappement automobile, sont des capteurs électrochimiques, mais un grand nombre de travaux actuel se concentrent sur le développement des capteurs à base de semi-conducteur (GaN, SnO₂..).

Ces capteurs sont constitués de deux électrodes en platine séparées par un électrolyte contenant une ou plusieurs espèces mobiles (ions - électrons). Une des électrodes est en contact avec un gaz de référence (son potentiel est fixé), et l'autre en contact avec les espèces gazeuses à analyser. L'électrolyte est l'élément principal du capteur électrochimique, il fonctionne généralement à des températures élevées, car la plupart des électrolytes solides ont une faible conductivité à température ambiante. Une température de fonctionnement plus élevée est un avantage, parce que le capteur peut fonctionner dans des environnements exigeants une température élevée comme les lignes d'échappements.

En fonction du mode de fonctionnement, les capteurs électrochimiques sont divisés en potentiométrique et ampérométrique, dans le mode potentiométrique, le signal mesuré est une force électromotrice, tandis que dans le mode ampérométrique il est un courant électrique.

II.2 Capteur potentiométrique :

A l'état d'équilibre l'activité du gaz est identique sur les électrodes, le champ électrique résultant est nul, le contact de l'électrolyte solide avec un gaz réducteur ou oxydant fait évoluer la concentration des ions et des électrons du côté de l'électrolyte par rapport au côté de référence, ce qui génère un potentiel électrique (EQII.2) connu sous le nom de tension de Nernst, et le capteur Figure II.1 suit la loi de Nernst (EQII.1).

$$\text{EQII.1} \quad E = E^o + \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{\text{activité de l'oxygène à l'état oxydé (O}_2\text{)}}{\text{activité de l'oxygène à l'état oxydé (O}_2\text{-)}}\right)$$

$$\text{EQII.2} \quad F_{em} = \frac{RT}{4F} \ln\left(\frac{P(\text{O}_2)\text{mesure}}{P(\text{O}_2\text{-})\text{référence}}\right)$$

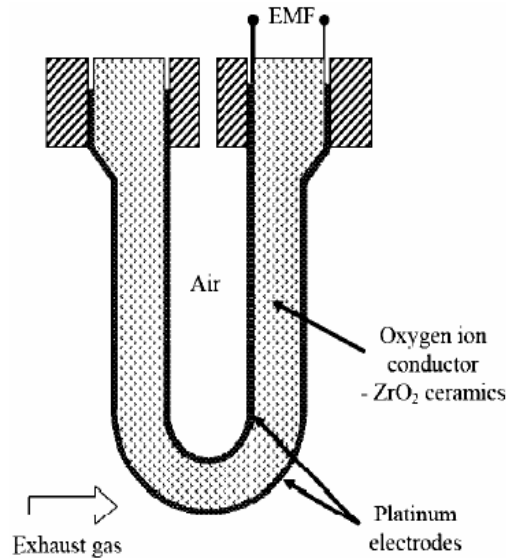
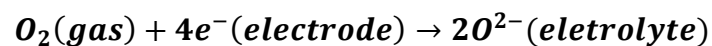


Figure II.1 Schéma d'un capteur potentiométrique.

Equation d'équilibre à l'interface de l'électrolyte et l'électrode de platine EQII.3:

EQII.3



La mesure de la force électromotrice permet de déterminer volume d'oxygène dans le gaz analysé par rapport au gaz de référence, sur ce principe reposent les sondes lambda ou sonde à oxygène.

La présence de gaz réducteurs et/ou oxydants peut poser un problème de mesure du fait que plusieurs réactions électrochimiques ont lieu simultanément «potentiel mixte», le type de capteur dit capteur Capteurs Non Nernstiens, les types d'électrodes utilisés joués un rôle important pour la sélectivité de gaz.

II.3 Capteur ampérométrique

Capteurs ampérométriques, contrairement à ceux potentiométrique, présentent une dépendance linéaire entre le signal électrique et la concentration de gaz, une petite sensibilité à la température avec l'absence de toute électrode de référence, ce qui simplifie considérablement la construction du capteur.

Les Capteurs ampérométriques sont largement utilisés dans le contrôle du fonctionnement des moteurs à combustion pauvre (moteur diesel), une structure typique d'un capteur d'oxygène

ampérométrie avec un orifice de diffusion, ou une couche poreuse est présentée sur la figure II.2.

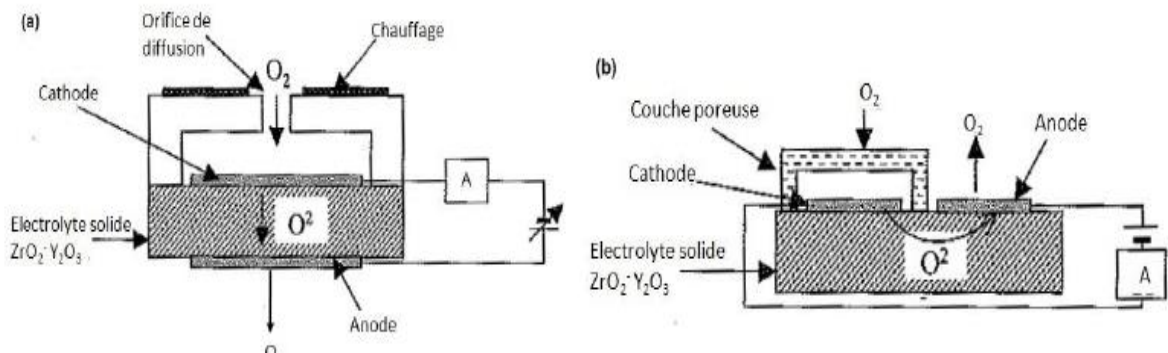
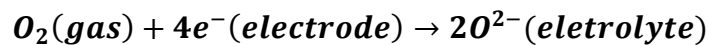


Figure II.2 : Structure d'un capteur d'oxygène ampérométrique avec un orifice de diffusion(a), ou une couche poreuse(b).

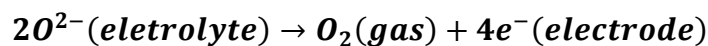
Lorsque la tension externe est appliquée aux bornes du capteur électrochimique, la réaction électrochimique suivante se produit à la cathode (borne négative) EQII.4:

EQII.4 :



Des ions d'oxygène générés se déplacent à travers l'électrolyte vers l'anode (pôle positif), où ils se recombinaient pour donner des molécules d'oxygène dans un gaz ambiant EQII.5:

EQII.5 :



En d'autres termes, les molécules d'oxygène se réduisent à des ions d'oxygène à la cathode, puis sont transportés à travers l'électrolyte vers l'anode, où la ré-oxydation de la molécule d'oxygène se produit, la limite de courant est liée à des paramètres géométriques de la barrière de diffusion et de la concentration de l'oxygène, telle que définie par la première loi de diffusion de Fick, l'équation des gaz parfaits, et la loi de Faraday EQII.6 :

$$I_{lim} = -\frac{nFD_{O_2}AP}{RTL} \ln(1 - x_{O_2})$$

Où I_{lim} est le courant limite, n est le nombre d'électrons impliqués dans la réaction,

F est la constante de Faraday, D_{O_2} est le coefficient de diffusion de O_2 gazeux, A est la surface du trou de diffusion, P est la pression atmosphérique, R la constante des gaz, T est la température de fonctionnement, L la longueur du trou de diffusion et X_{O_2} la fraction molaire d'oxygène.

Pour les petites valeurs de fraction molaire en oxygène (inférieure à 10%), le logarithme devient linéaire et I_{lim} peut-être approchée par EQII.7:

$$I_{lim} = - \frac{nFD_{O_2}AC_{O_2}}{RTL}$$

C_{O_2} , est la concentration en oxygène.

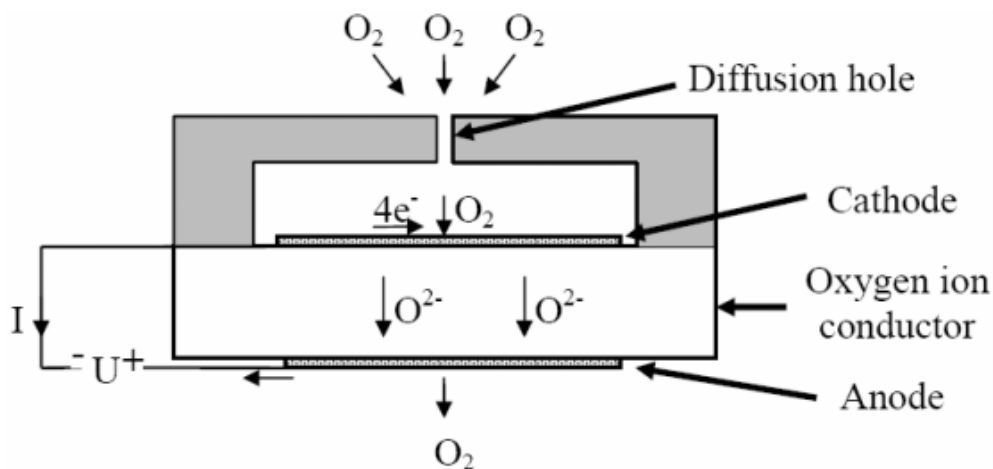


Figure II.3 : mécanisme de détection d'un capteur d'oxygène ampérométrique avec un trou en tant que barrière de diffusion

II.4 Capteur intégré en ligne d'échappement

II.4.1 La sonde lambda :

Le premier capteur utilisé pour la dépollution des lignes d'échappement a été élaboré par Bosch en 1979 est appelé sonde lambda ou sonde à oxygène Figure II.4. Son rôle essentiel est d'atteindre le rapport du mélange air/essence proche de la stœchiométrique (14,7 grammes d'air pour 1 gramme d'essence) pour assurer une combustion parfaite du Carburant.



Figure II.4 : sonde lambda.

La quantité d'oxygène résiduel après combustion, augmente si la combustion fonctionne en excès d'air ou un manque de carburant, d'autre part un manque d'air ou un excès de carburant réduira la quantité d'oxygène, d'où l'utilité de l'utilisation d'un capteur d'oxygène pour mesurer en permanence la teneur des gaz d'échappement en oxygène, la valeur mesurée est utilisée par un calculateur afin d'ajuster la quantité de carburant pour garder un mélange air carburant proche de la stœchiométrie, et donc assurer un fonctionnement des catalyseur efficace.

Les capteurs sonde lambda sont divisés : en capteur à bande étroite, et à bande large. Le capteur à bande à bande étroite est un capteur potentiométrique. Le signal est représenté dans la figure (II.5).

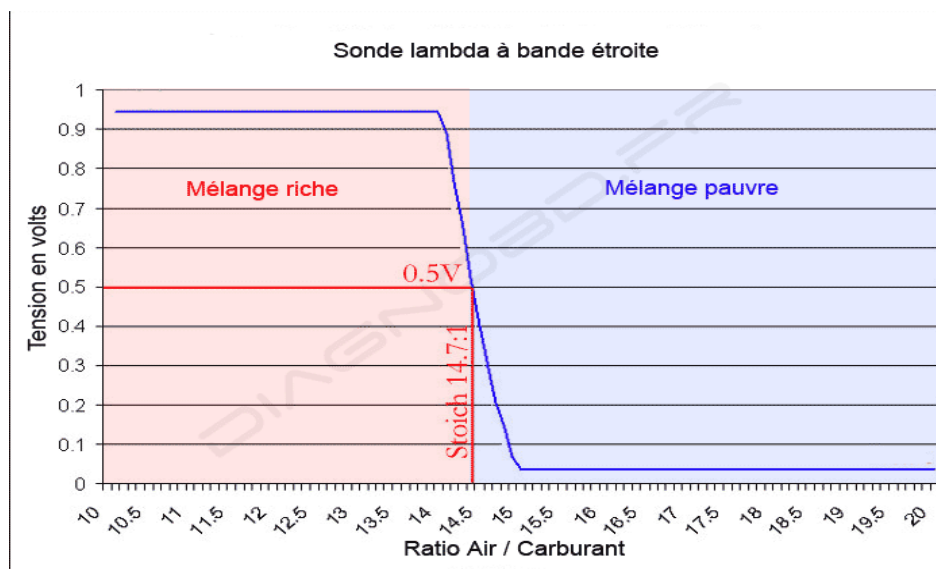


Figure II.5 : Réponse de la sonde lambda **Nernstiens** en fonctionne du rapport air/carburant.

Le signal entre 0.1V à 0.4V le mélange est considéré comme pauvre, l'équilibre se trouvant autour de 0.5V, entre 0.6 V et 1.0V il est riche.

capteur à bande large est un le capteur ampérométrique(figure II.6).

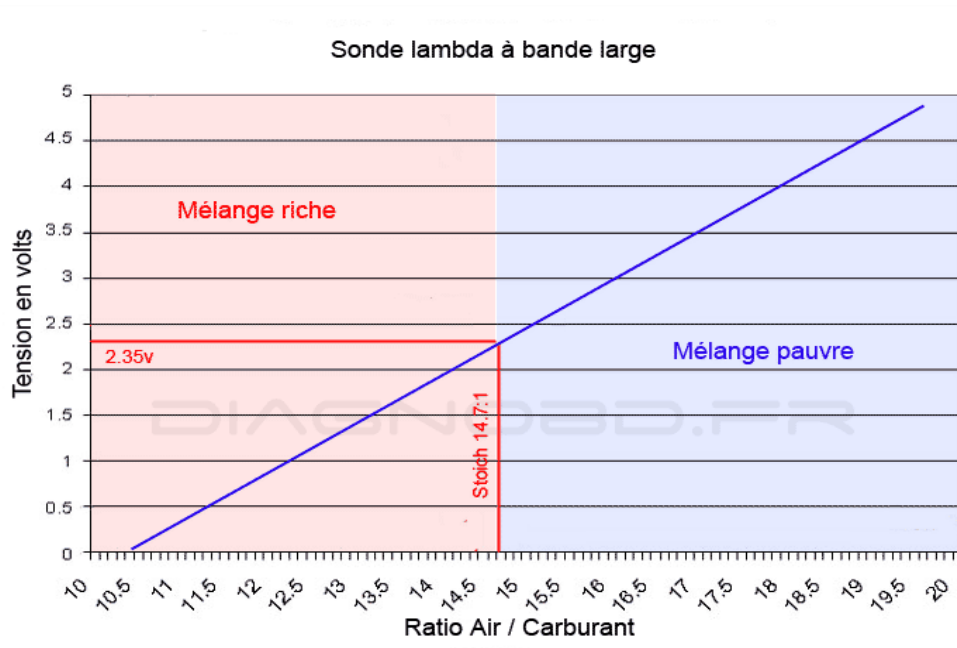


Figure II.6 : Réponse de la sonde lambda **Non-Nernstiens** en fonctionne du rapport air/carburant.

Le signal est une fonctionne linéaire du rapport air/carburant, le signal entre 0.1et 5V.

Caractéristique de la sonde lambda :

La sonde lambda se compose essentiellement d'un corps en céramique spéciale dont les surfaces présentent des électrodes en platine perméables aux gaz. Certaines sondes lambda possèdent des résistances chauffantes pour amener la sonde à température de fonctionnement normal, car la céramique devient électro-conductrice à partir de 300°C.

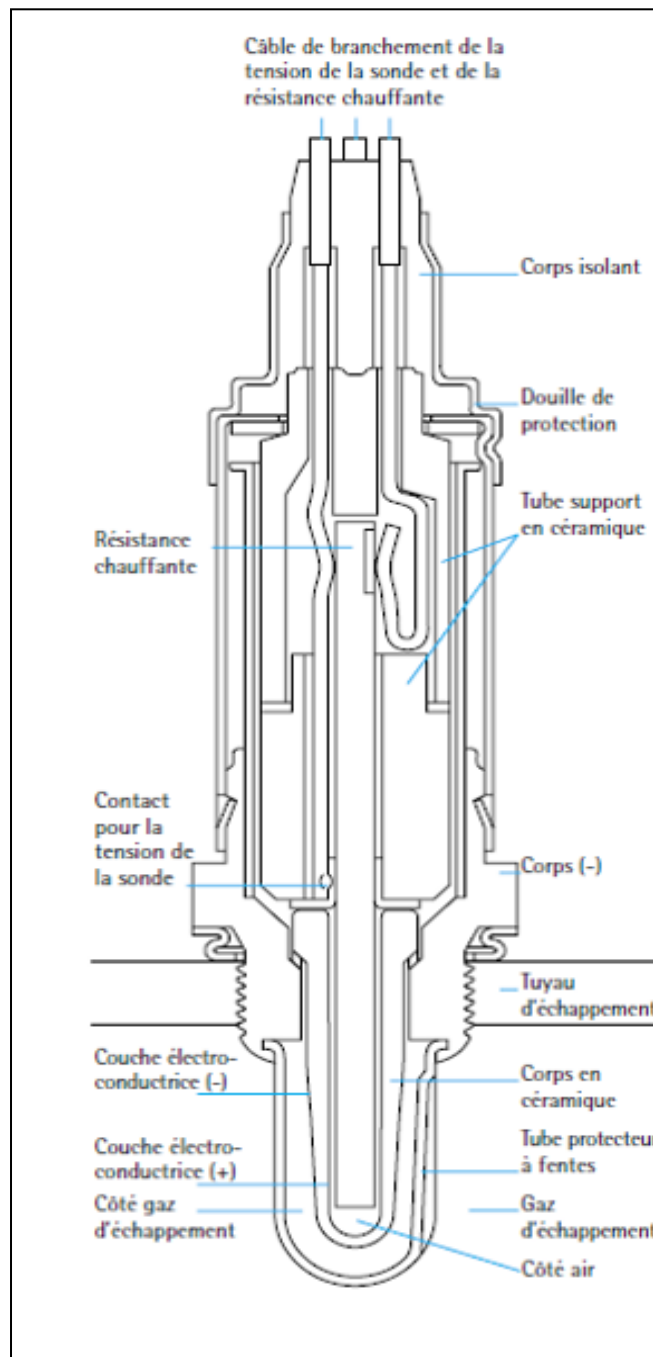


Figure II.7 : Schéma interne de la sonde lambda.

II.4.2 capteur NO_x.

Les capteurs NO_x intégrés dans les véhicules diesel, permettent de contrôler les performances du système SCR et réduire la quantité NO_x injecté dans l'air, les capteurs NO_x à électrolyte solide les plus connus sont commercialisés par la société NGK INSULATORS LTD en coopération avec Siemens VDO qui s'est chargée de l'unité de contrôle électronique.



Figure II.8 : Capteurs NO_x et unité de contrôle électronique.

Ce capteur est basé sur le principe du capteur ampérométrique et potentiométrique, composé de deux chambres à volume restreint. Pour les faibles concentrations de NO_x la précision de capteur est $\pm 10\text{ppm}$ pour les concentrations faibles de NO_x, pour les concentrations supérieures à 100ppm la précision est $\pm 10\%$.

Dans la première chambre, créée par une barrière de diffusion, permet aux gaz d'échappement d'entrer, une cellule ampérométrique a le rôle d'éliminer et pomper l'oxygène vers l'extérieur, le bon fonctionnement de cette cellule nécessite l'application de tension de pompage précise, pour cela une deuxième cellule potentiométrique intégrée permet de mesurer la quantité d'oxygène dans la première chambre, dans le but de rétroagir sur la cellule ampérométrique.

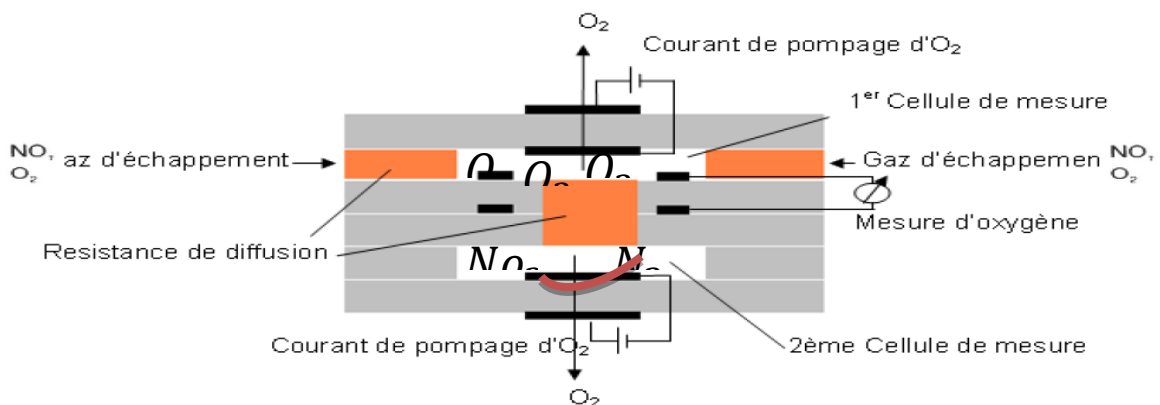


Figure II.9: Schéma de principe d'un capteur NO_x (Exemple du capteur développé par NGK).

NO_x traverse une deuxième barrière de diffusion, vers une chambre secondaire, une autre cellule ampérométrique pompe oxygène jusqu'à ce que NO soit réduit en N_2 et O_2 , la réaction électrochimique suivante se produit à la cathode (borne négative) EQII.8:

Cependant, dans le présent stage, nous nous sommes essentiellement focalisés sur le capteur NO_x , en effet le chapitre suivant sera consacré à une étude détaillée de ce capteur, ainsi les modes d'amélioration.

II.4.3 Capteur ammoniac.

Delphi en 2007, propose aux constructeurs automobiles un capteur pouvant détecter le taux d'ammoniac en sortie d'échappement figure II.10. L'ammoniac est, l'élément principal qui sert au traitement des oxydes d'azote (NO_x) avec un catalyseur SCR (Selective Catalytic Reduction), ce capteur permettra un dosage plus précis de l'injection d'urée dans la ligne d'échappement, pour éviter l'émission supplémentaire de NH_3 .



Figure II.10 : Capteur NH_3 , développé par Delphi.

La marge de mesure de capteur 0 à 100ppm avec une précision de $\pm 5\text{ppm}$ pour les concentrations faibles, inférieure à 10 ppm, la sélectivité est une contrainte majeure pour le capteur NH_3 , car la présence de H_2O (gaz) peut contribuer au signal et se comporter ainsi comme interfère, Figure II.11, cela pose surtout un problème de précision, mais il présente une certaine interférence même minimale avec CO , HC , NO , NO_2 , SO_2 .

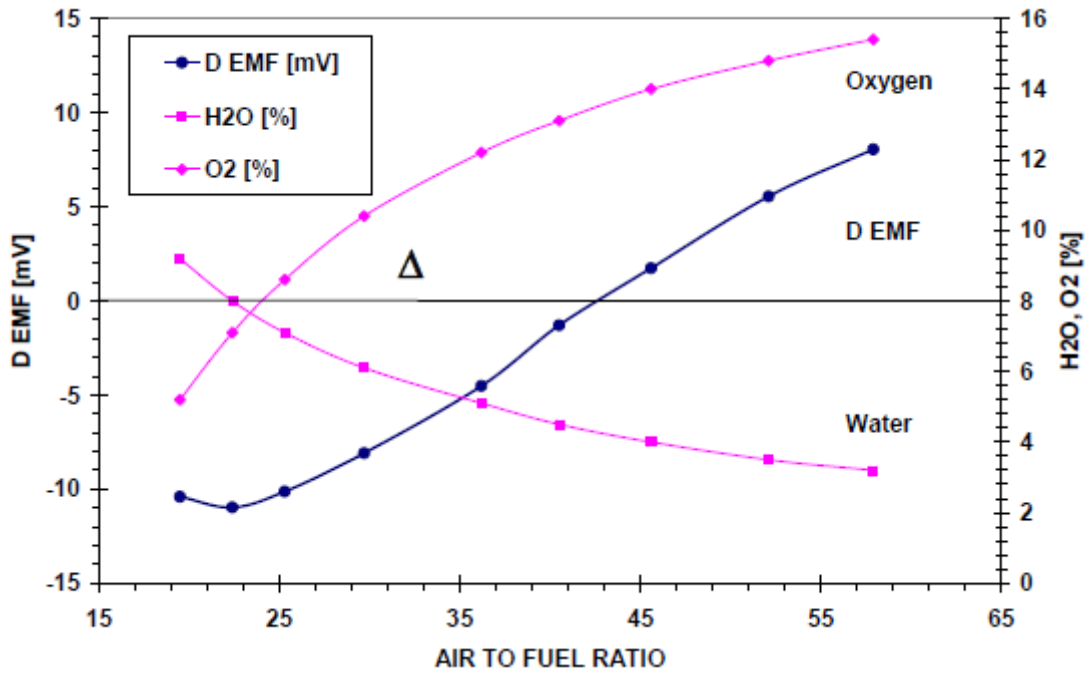


Figure II.11 : Réponse de capteur NH₃, en fonction de rapport air/carburant et de la concentration de O₂ et H₂O.

Le capteur ammoniac est un capteur potentiométrique de type non-Nernstien figure II.12, deux réactions aux bornes d'électrode une réaction d'oxydation et une réaction de réduction, la réaction d'oxydation de l'électrolyte solide (YSZ) (EQII.9) est en compétition avec la réaction de réduction de l'électrolyte solide par l'ammoniac.

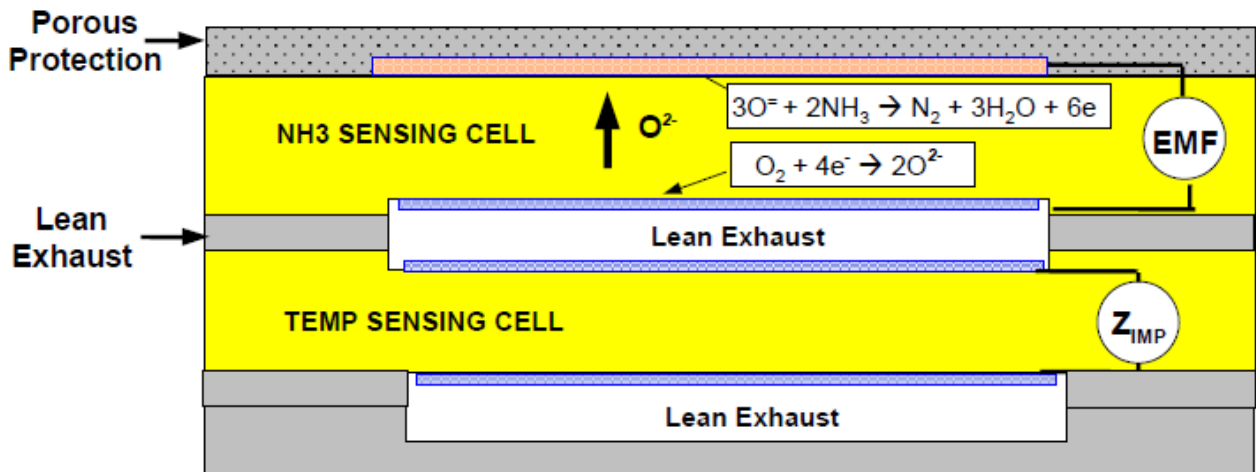
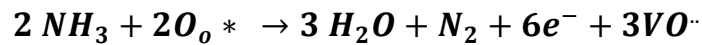
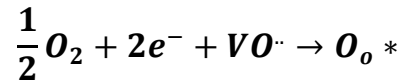


Figure II.12 : Schéma de principe d'un capteur NH₃ (Exemple du capteur développé par Delphi)

EQU.9 :



Une différence de tension Vs EQU.9, apparaît entre les deux électrodes :

$$V_s = \frac{K_b T}{2e} \left(\frac{2}{3} \ln P_{NH_3} - \frac{1}{2} \ln P_{O_2} - \ln P_{H_2O} \right)$$

Conclusion

Les premiers capteurs de gaz intégré dans la ligne d'échappement sont à base de ZrO_2 , dont le matériau permet d'obtenir des capteurs robustes peu encombrants, les deux modes les plus couramment employés dans ces capteurs sont les modes potentiométriques et ampérométrique. Pour le mode potentiométrique, la tension obtenue est une fonction logarithmes avec l'activité d'oxygène, pour les capteurs ampérométriques le courant dépend linéairement, et ne nécessite pas un gaz de référence.

La sonde lambda premier capteur implantée sur les systèmes d'échappement, assure une consommation réduite de carburant et une faible quantité des gaz polluants, le principe de fonctionnement, est que en fonction de la quantité d'oxygène des gaz brûlés issus de la combustion mesuré par la sonde lambda, le calculateur de moteur détermine la quantité d'essence à injecter dans les cylindres pour que le ratio air-essence soit aussi proche que possible du rapport idéal.

Les sondes lambda NO_x NTK capteur NO_x , généralement implantées dans les automobiles diesel, sont constituées de capteur potentiométrique et ampérométrique.

Référence :

1. j. riegel , h. neumann, h.-m. wiedenmann ;exhaust gas sensors for automotive emission control. 7 march 2002
2. nicolas docquier, sebastien candel ; combustion control and sensors, 18 june 2001.
3. g. alkemade, bernd schumann; engines and exhaust after treatment systems for future automotive applications. 29 may 2006.
4. ralf moos; a briefo verview on automotive exhaust gas sensors based on electro ceramics 2005.
5. e. ivers-tiffée , k.h. hardtl a, w. menesklou , j. riegel ; principles of solid state oxygen sensors for lean combustion gas control .2001.
6. gerard moulin, jerome favergeon, gerard béranger ; zircone – céramique fonctionnelle. 2008.
7. norio miura, hide , masaharu haseib, geyu lu, noboru yamazoea ; stabilized zirconia-based sensor using oxide electrode for detection of no, in high-temperature combustion-exhausts.
8. norio miura*, geyu lu, masaki ono, noboru yamazoe selective detection of no by using an amperometric sensor based on stabilized zirconia and oxide electrode ; 1998.
9. francis ménil ,véroniquecoillard , claude lucat ; critical review of nitrogen monoxide sensors for exhaust gases of leanburnengines. 7 february 2000.
10. Ammoniasensor for closed-loop scr control; da yu wang, sheng yao, mark shost, joon-ho yoo, david cabush, and david racinedelphi corporation.
11. j.f. mcleer, p.t. moseley et d.e. williams, sensors and actuators 17 (1989).
12. s. kading, s. jakobs et u. guth, ionics 9 (2003).
13. y. shimizu et k. maeda, chemical letters (1996).
14. n.n. toan, s. saukko et v. lantto, physics b 327 (2003).
15. g. lu, n. miura et n. yamazoe ,sensors and actuators b 65 (2000).
16. s. i. somov, g. reinhardt, u. guth et w. gopel, solid state ionics 136_137 (2000).
17. k. nagashima et t. hobo. solid state ionics, 40/41 (1990).
18. H. Debeda, L. Dulau, P. Dondon, F. Menil, C. Lucat et P. Massok, Sensors and ActuatorsB44 (1997)

19. N. Miura, M. Iio, G. Lu et N. Yamazoe, *Sensors and Actuators B* 35/36 (1996)

20. H. Richert, *Solid Ionicconductors: Principles and Applications*, *AngewandteChemie International Edition*, England

Chapitre III

Traitement des échantillons, techniques de caractérisations utilisées et optimisation du capteur

Ce chapitre est consacré à l'étude d'un capteur d'oxygène et NO_x intégré dans les automobiles Peugeot. D'une part, nous présentons le fonctionnement et les blocs de ce capteur, d'autre part les améliorations qui peuvent satisfaire le mieux les exigences du domaine automobile.

CHAPITRE III. Traitement des échantillons, techniques de caractérisations utilisées et optimisation du capteur	45
III.1 Introduction.....	46
III.2 Technique de caractérisations : Analyse par EDX et MEB.....	46
III.3. Analyse du capteur PSA.....	48
III.3.1 La résistance chauffante	48
III.3.2 L'isolation électrique.....	50
III.3.3 Les trous d'interconnexion et plots de soudures.....	53
III.3.4 Electrolyte solide – Zircon stabilisée à l'oxyde d'yttrium.....	53
Référence.....	60

III.1 Introduction :

Pour diminuer le niveau des émissions de NO_x des moteurs Diesel, PSA Peugeot Citroën a inventé un système de dépollution appelé Selective Catalytic Reduction (SCR) position en amont du filtre à particule, permettant de décomposer jusqu'à 90% des oxydes d'azote (NO_x) émis par le moteur et respecte la réglementation Euro 6.

III.2 Technique de caractérisations : SPECTROSCOPIE DES RAYONS-X DISPERSIVE EN ÉNERGIE (EDX OU EDS)

Les matériaux sont constitués d'atomes. L'impact du faisceau d'électron sur un échantillon produit des rayons X, est le fondement sur lequel nous construisons notre compréhension de la structure et les propriétés des matériaux du capteur. Il existe de nombreuses techniques pour la mesure des compositions chimiques des matériaux, mais les techniques expérimentales les plus puissantes impliquent l'analyse dispersive d'énergie

Le but est de préciser la structure des différentes couches présentes sur l'échantillon. De plus mesurer la concentration des éléments et des largeurs des couches, afin d'ajouter des améliorations.

Le principe de détection repose sur l'application d'un faisceau d'électrons, suffisamment accélérés, de forte énergie (faible longueur d'onde), sur une surface solide, les atomes constituant le matériau peuvent subir une ionisation, c'est-à-dire qu'un ou plusieurs électrons peuvent être éjectés des couches électroniques de chacun de ces atomes. Il est nécessaire que l'énergie du rayonnement soit assez forte que le potentiel d'ionisation.

L'atome se présente dans un état instable à cause de perte d'un électron, la désexcitation se fait par une transition électronique d'un électron d'un niveau plus élevé « descend » pour occuper la case quantique à moitié vide. Cette transition électronique s'effectue par une libération d'énergie par l'émission d'un photon X figure III.1.

L'énergie du photon X émis est égale à la différence d'énergie des deux orbitales concernées. Il est donc caractéristique de l'atome où l'émission a été générée. On obtient un spectre d'énergie caractéristique de la composition de l'échantillon figure III.2.

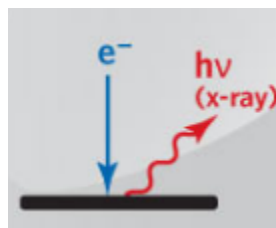


Figure III.1 projection d'un électron sur un échantillon, produit des rayons X.

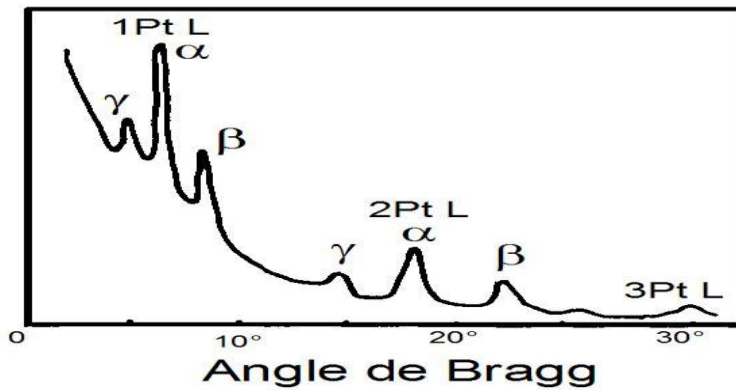
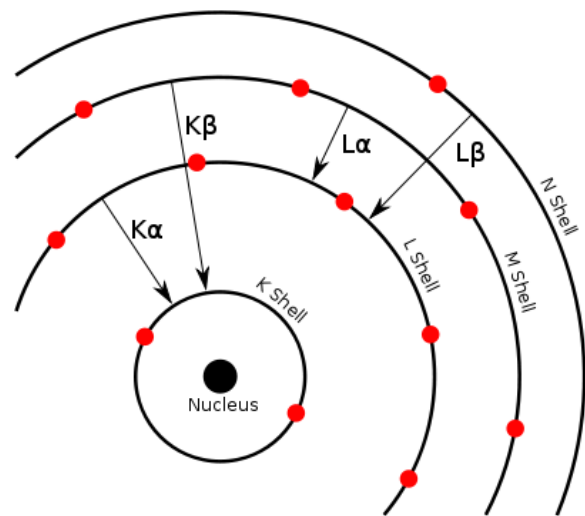


Figure III.2 : Premier spectre de fluorescence X obtenu par W.H. Bragg et W.L. Bragg en 1913.

Figure III.3 : Transitions électroniques dans un atome de calcium. La retombée d'un électron d'une couche supérieure vers une couche inférieure implique que cette dernière a perdu préalablement un de ses électrons.



Instrumentation :

Le SEM MERLIN est composé d'une colonne GEMINI II, une chambre de traitement avec 5 axes motorisée (X, Y, Z, inclinaison et rotation) et un émetteur d'électron. La surface de l'échantillon se trouve au niveau du point eucentrique, où l'axe de basculement rencontre l'axe du faisceau.

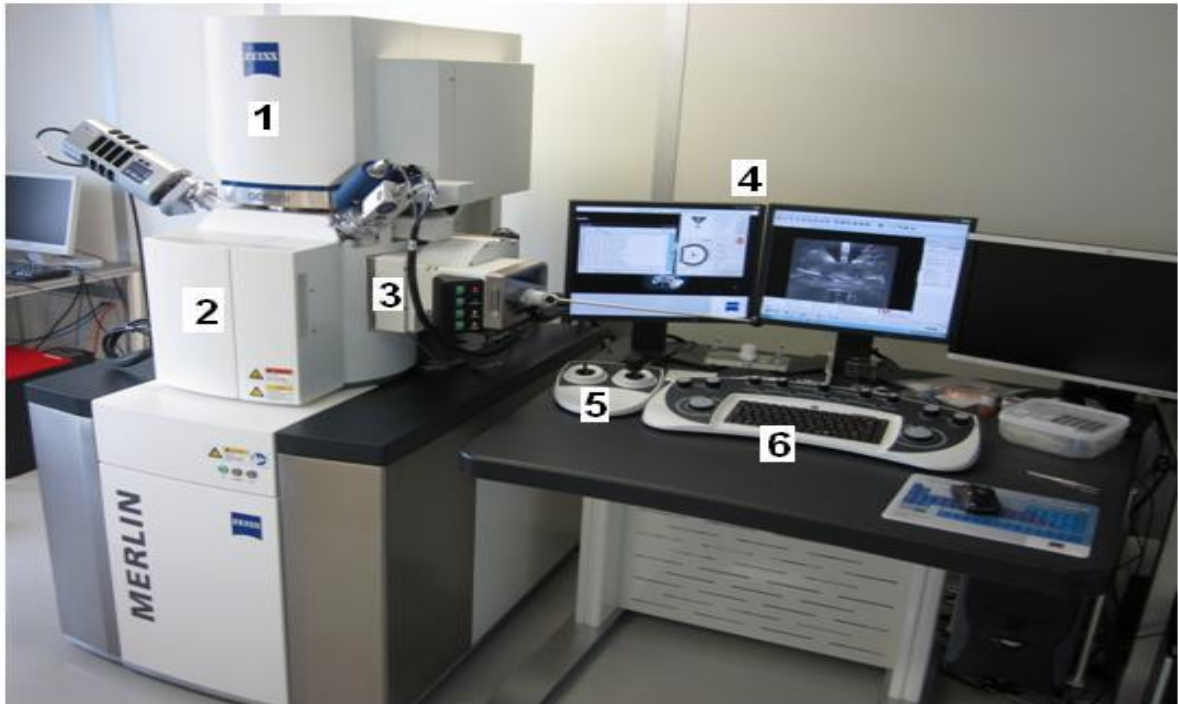


Figure III.4 Vue de poste de traitement.

1. Electron optical column GEMINI II
2. Specimen chamber
3. Semi-automatic loadlock
4. Control monitors
5. Dual joystick
6. Control panel.

III.3. traitement de capteur

III.3.1 Résistance chauffante :

La seule source de chaleur pour atteindre la température de travail minimale d'environ 350 °C était la température du gaz lui-même, mais il prend un certain temps pour chauffer le ZrO_2/Y_2O_3 , donc l'efficacité du poste traitement était faible sur les courts chemins. Pour pallier à cet inconvénient et réduire la variation de température élevée, la première amélioration importante au début des années 1980 a été l'introduction d'un élément chauffant.

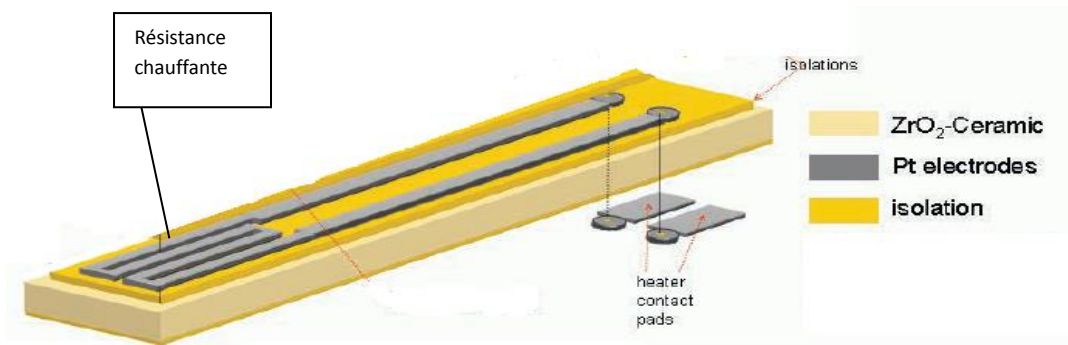


Figure III.5 Schéma synoptique de la résistance chauffante.

Spectre EDX (figure III.6), et image MEB (figure III.8) montrent que l'élément chauffant est en platine, ainsi les pistes.

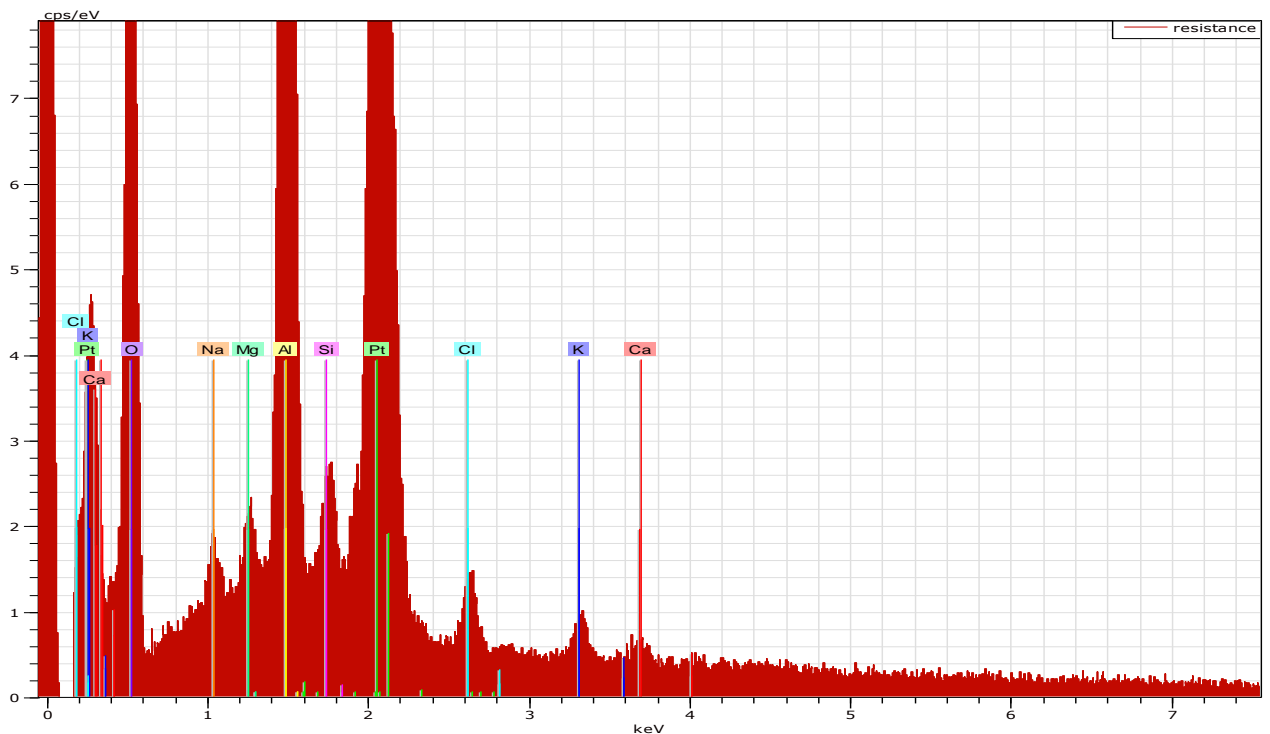


Figure III.6 Spectre EDX obtenu sur une coupe transversale du capteur NGK.

L'épaisseur de la base chauffante est de 0,4 mm, la résistance peut varier avec l'épaisseur de la couche, mais en général elle est comprise entre 3 et 14 Ω à 20 °C. La valeur de la résistance permet d'estimer la température, du fait que la température dépend linéairement avec la résistance de platine (EQIII.1). L'avantage de ce système de chauffage est son temps de réponse, quelques secondes pour atteindre la température souhaitée.

$$R(t) = R_0(1 + at + bt^2 + c(1 - 100)t^3) \quad (\text{EQIII.1})$$

Pour $t > 0$ °C $a = 3,908 \cdot 10^{-3}$, $b = -5,802 \cdot 10^{-7}$ et $c = 0$.

La résistance de chauffage doit présenter une répartition homogène de la température afin d'optimiser la réponse du capteur, exemple des résultats de mesure :

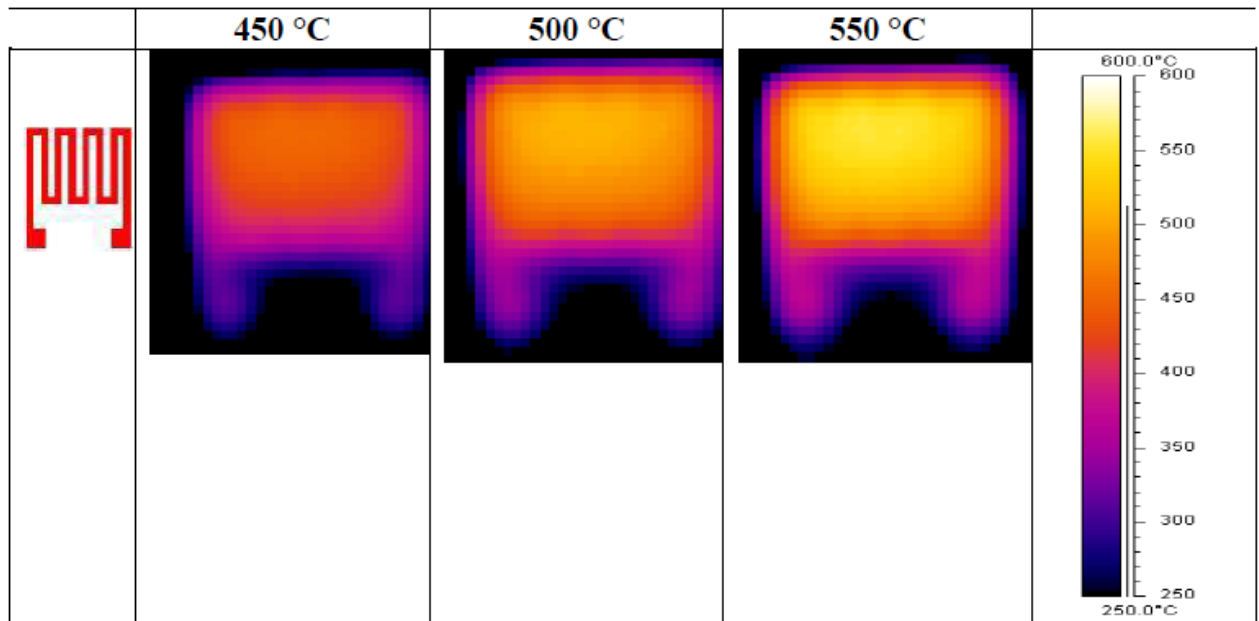


Figure III.7 : Distribution de la température sur la partie sensible de la résistance chauffante pour différentes températures de consignes (450 °C, 50 °C, 550 °C).

On observe que la zone de distribution de température est uniforme, enfaite les mesures effectuées sans couvercle de protection, cela augmente la convection autour du capteur et abaisse la température du gaz environnant par rapport au modèle.

Les largeurs des lignes conductrices dans la structure de chauffage sont environ de 11.31 μ m. On remarque que l'épaisseur de la couche d'alumine deux fois plus de la résistance chauffante.

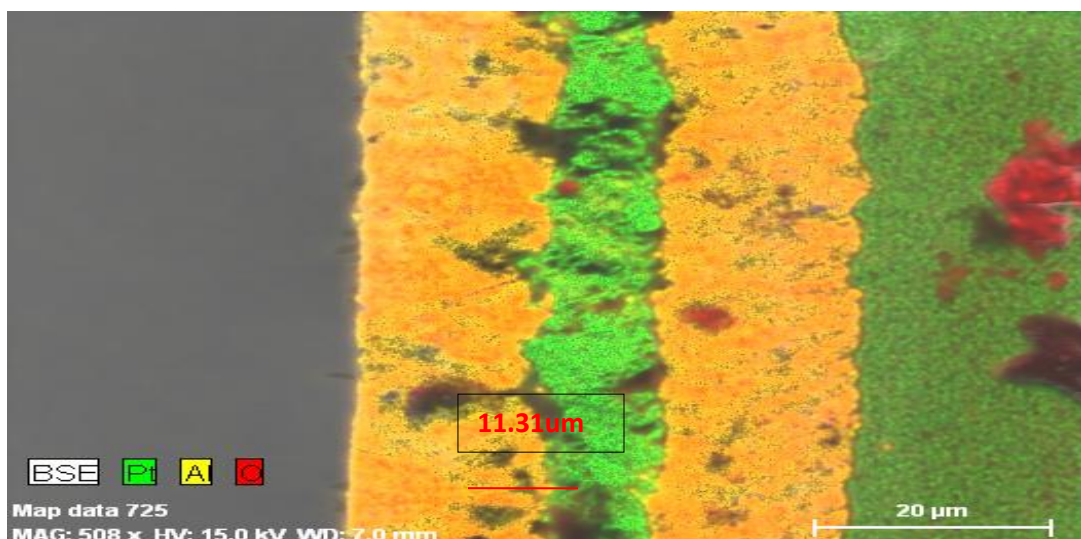


Figure III.8 : Photo MEB d'une vue en coupe du capteur de gaz NGK.

III.3.2 Isolation électrique:

En raison des propriétés particulières de la zircone, la résistance de chauffage doit être isolée pour des raisons d'effet électrique. Par conséquent, elle a été isolée des deux côtés avec une couche de film épais de l'alumine figure III.9.

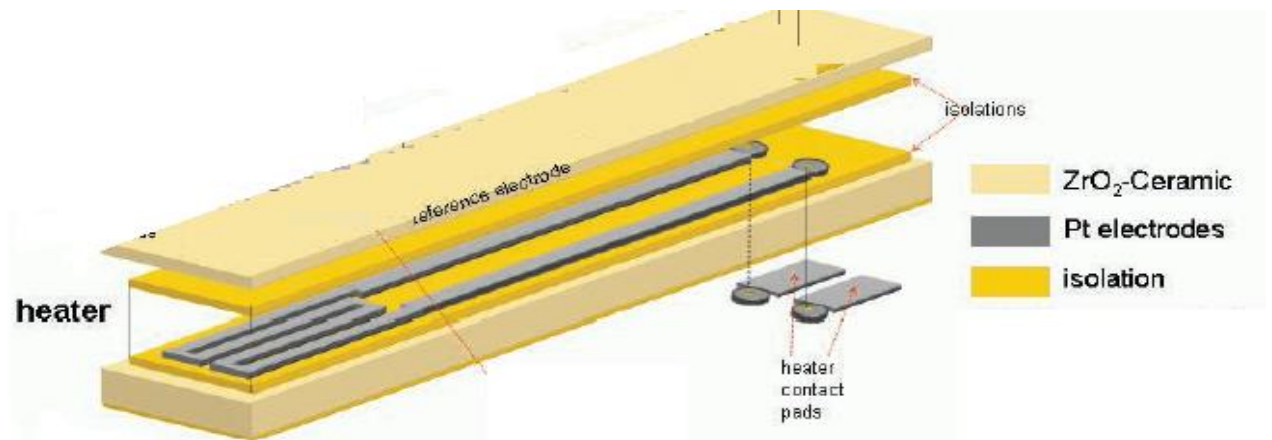


Figure III.9 : Image de la couche protectrice à base d'alumine sur les deux côtés de la résistance chauffante.

L'isolation de l'alumine a été imprimée deux fois pour assurer une densité suffisante de la couche en général plus large que les chemins de conduction pour permettre une certaine tolérance, la couche d'alumine a été fixée à 15.24 µm de chaque côté (figure III.10).

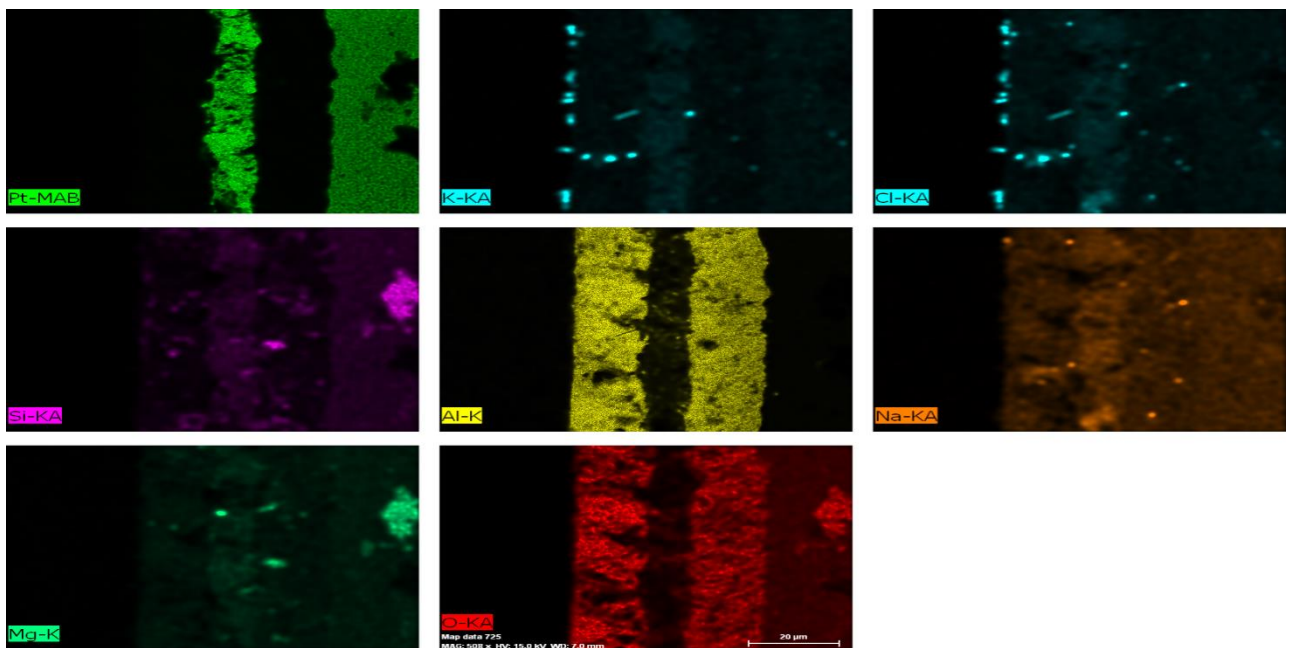


Figure III.10 Image et spectre EDX des éléments de la résistance chauffante

Une très faible quantité des additifs calciums, sodium, magnésium, présenté dans l'analyse à cause de contact direct des mains avec le capteur.

Une autre couche déposée sur les extrémités extérieures du capteur, largeur 5 μm , permet d'une part de protéger mécaniquement et électriquement les différents couches, d'autre part il sert à isoler la résistance de platine de l'atmosphère gazeuse, car le platine Pourrait modifier sa résistance par réaction avec les gaz.

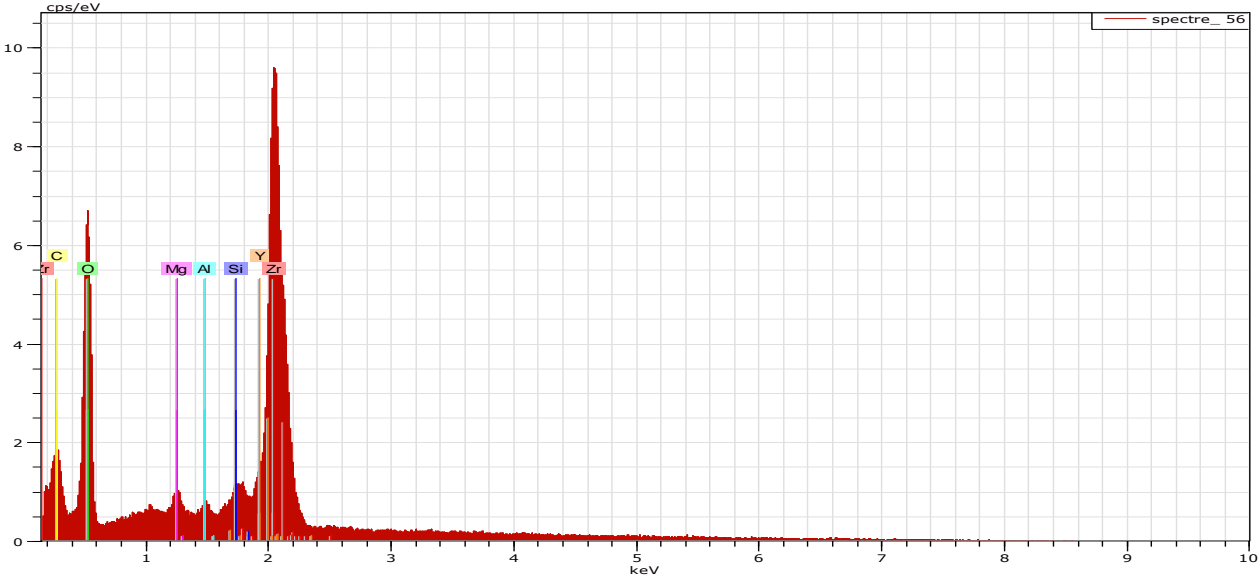


Figure III.11: Spectre EDX de la couche de protection.

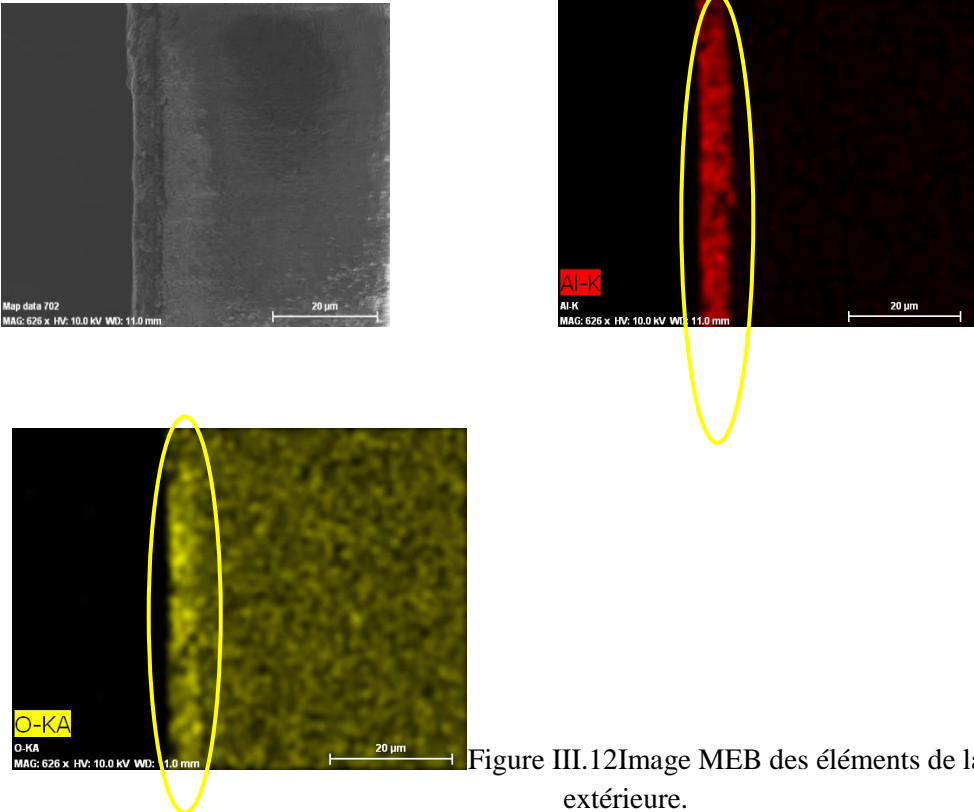


Figure III.12 Image MEB des éléments de la couche de protection extérieure.

III.3.3 Les trous d'interconnexion

Les contacts de la résistance chauffants ont été déposés sur la face arrière de la base, relié avec les conducteurs en utilisant des via, de même, les électrodes de la partie supérieure connectée par des via (figure III.18), pour assurer un fonctionnement optimal de capteur, les via doivent être produits de manière fiable.

Après la sérigraphie de lignes conductrices, certains problèmes peuvent être observés au niveau des bords de l'isolant d'alumine, pour une meilleure compréhension, le problème a été schématisé à la Fig. III.13.a. Il a été constaté que la ligne de platine relativement mince placée entre les couches d'alumine épais le contact entre la via et la ligne conductrice peut se briser, cependant, ceci peut être facilement résolu en appliquant une couche supplémentaire de platine au-dessus des trous d'interconnexion, comme représenté sur la Fig.III.3.b.

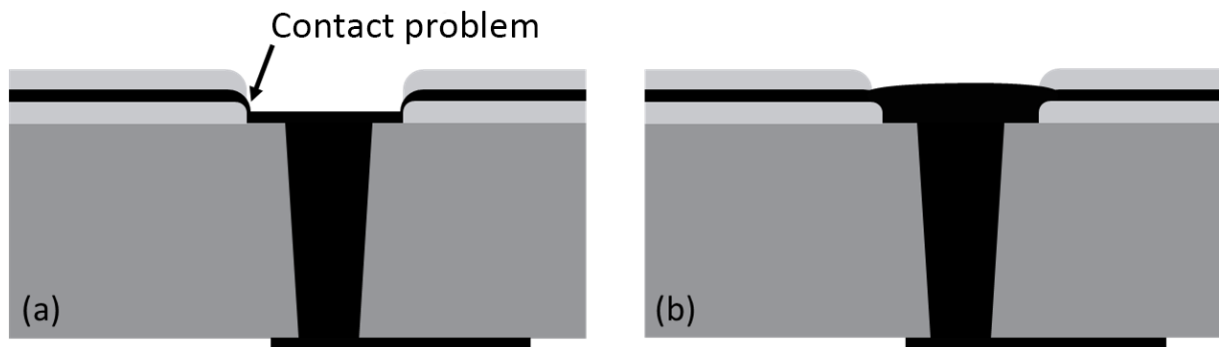


Figure III.13 : Schéma synoptique du contact entre le via-hole de liaison et ligne de conduction sans (a) et (b) avec la couche supplémentaire appliquée.

III.3.4 Electrolyte solide – Zirconne stabilisée à l'oxyde d'yttrium :

Le capteur électrochimique décrit dans ce chapitre NO_x , est composé de plusieurs couches d'électrolyte solide, la mise en forme de ses couches suit un ensemble des critères principaux. Premier critère est les types des ions qui se déplaçant dans le système.

Tableau III - 1: Classification des électrolytes solides en fonctionne des ions qui se déplacent dans le système.

O_2^-	H^+, Li^+	Na^+	$\text{K}^+, \text{Cs}^+, \text{Rb}^+, \text{Tl}^+$	Ag^+	Cu^+	F^-
YSZ, SSZ	Nafion 117, CsHSO_4	β^- , β'' - alumina	β^- , β'' -alumina substitué	a-Agl, RbAg_4I_5	Cu_2Se , KCu_4I_5	PbF_2 , CaF_2

La zirconne pure à température ambiante possède une structure cristalline monoclinique, caractérisé par une structure déformée, conséquence de faible rapport atomique des ions Zr^{4+}

sur celui des ions O^{2-} à partir de 1170 C grâce de dilatation thermique la phase monoclinique transforme en phase quadratique, cependant une contraction de volume associé à cette transformation d'environ 4.5%, à partir de 2370 C, une nouvelle transition de phase intervient entre la forme quadratique et la phase cubique.

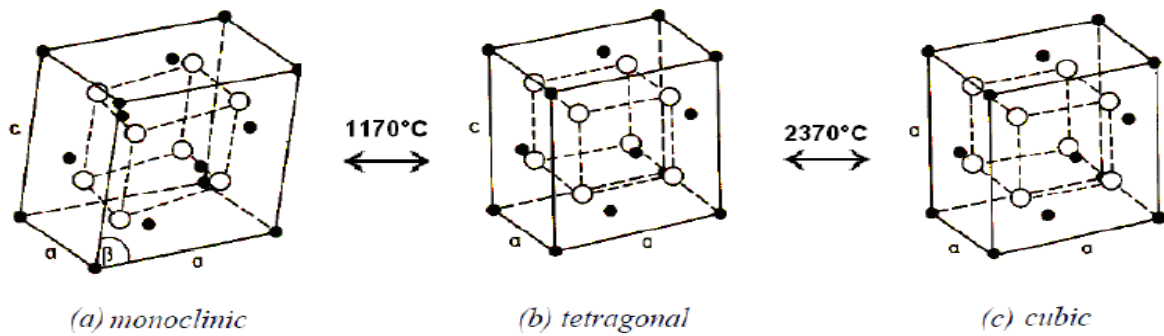


Figure III.14 : Schéma synoptique de différentes structures de zircone stabilisée.

Un autre paramètre intervient sur la stabilité de phase (quadratique, cubique) la taille des grains, en effet lorsque les grains ont une taille inférieure à une valeur critique, c'est la zircone quadratique qui devient stable à température ambiante, la taille critique confirmée par les calculs est inférieure à 20 nm, montrant que le diamètre critique est égal à 10 nm à température ambiante dans l'hypothèse de grains sphériques figure III.15.

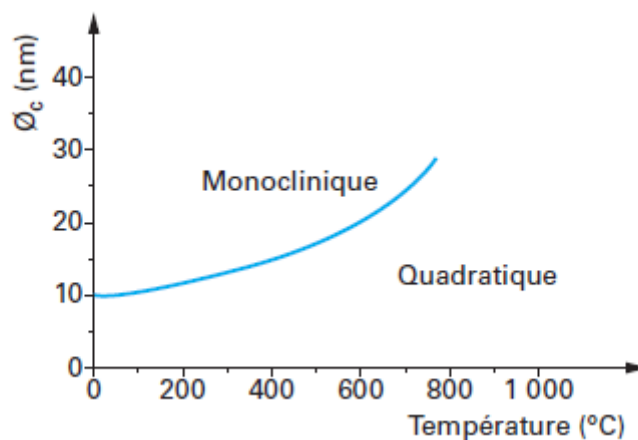
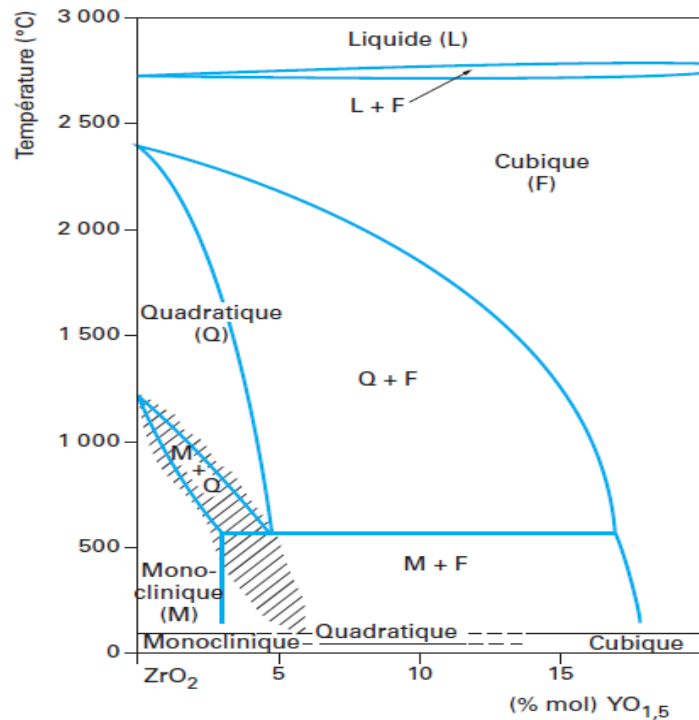


Figure III.15 – Diamètre critique des grains pour la transformation zircone monoclinique/zircone quadratique en fonction de la température.

La principale technique de stabilisation de la zircone est le dopage, par la mise en solution d'autre solution de valence plus faible que celle du zirconium tel que : Y_2O_3 , CeO_2 , CaO , MgO . La quantité de dopant introduit dans le dopage, agit sur la phase de stabilisation, forme cubique seule On dit alors que la zircone est totalement stabilisée et on la note FSZ (Fully Stabilized Zirconia), pour des quantités moindres de dopant, on obtient une stabilisation entre la phase cubique et la phase quadratique, la zircone est alors partiellement stabilisée et on la note PSZ (Partially Stabilized Zirconia), sinon pour des quantités faible de dopant, vas stabiliser sous forme quadratique, on la dénommera TZP (Tetragonal Zirconia Polycrystal).

Figure III.16: Diagramme de phase binaire du système $ZrO_2 - Y_2O_3$.



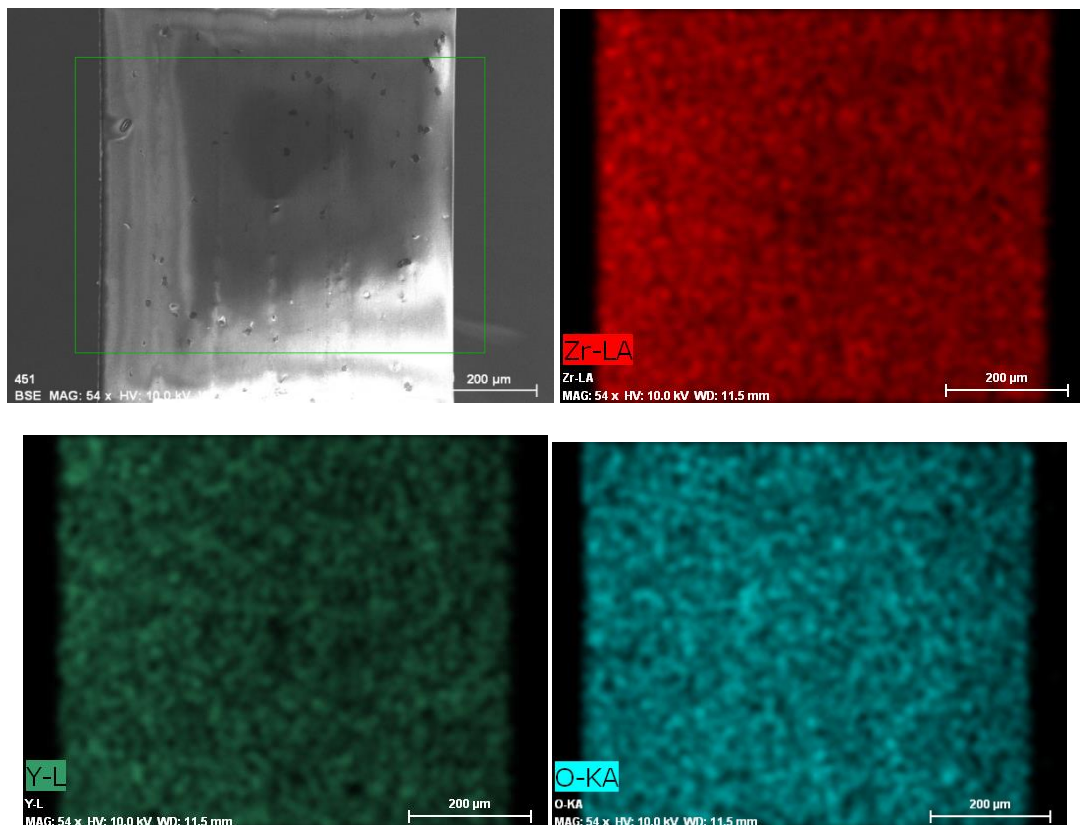
La figure III.16 présente les phases de zircone obtenues en fonction de la température et de la quantité d'yttrine introduite en solution solide, type de solution dit solution solide de substitution puisque des cations de dopant de taille supérieure de zircone, d'une manière générale, on peut considérer que l'obtention d'une zircone PSZ nécessite, compte tenu de l'effet de valence et de taille, une teneur minimale de 3 à 4 % molaires d' Y_2O_3 . Lorsque les teneurs de ce stabilisant deviennent supérieures à 8 % molaires, on obtient une zircone totalement stabilisée en phase cubique (FSZ), la structure FSZ est la plus favorable pour la conductivité ionique, car elle possède un nombre de site de diffusion importante, ce permet une conductivité ionique favorable, mais la résistance mécanique et la ténacité de FSZ plus faible que celles de PSZ, ce qui peut conduire à des difficultés pour les applications industriel, pour cette raison, la plupart des industriels préfère employer PSZ que FSZ pour la fabrication des capteurs d'oxygène.

Tableau III.2 – Caractéristiques mécaniques d'une alumine cristallisée et de deux zircons partiellement stabilisés.

Caractéristiques	Alumine	MgO-PSZ	Y2O3-PSZ
Masse volumique (kg.m ⁻³)	3 900 à 3 910	5 400 à 5 600	6 040 à 6 060
Module de Young (GPa)	340 à 380	200 à 205	200 à 205
Ténacité (MPa/√m)	3,1 à 3,3	5,8 à 6,0	6,0 à 30,0
Résistance à l'usure (perte de volume en cm ³ – selon norme)	15 à 20	11 à 15	12 à 16

Le tableau fournit quelques caractéristiques mécaniques de zircons partiellement stabilisés par Y_2O_3 et MgO , et les compare aux caractéristiques d'une alumine cristallisée à 99,5 %, en conclusion que le dopage par Y_2O_3 présente des caractéristiques importantes.

Les analyses EDX effectuées sur le capteur Peugeot, les résultats obtenus pour toutes les couches de zircon se composent d'un électrolyte solide à base de zircon stabilisé à l'oxyde d'yttrium est dopée à 8 mol % de Y_2O_3 (figure III.17).



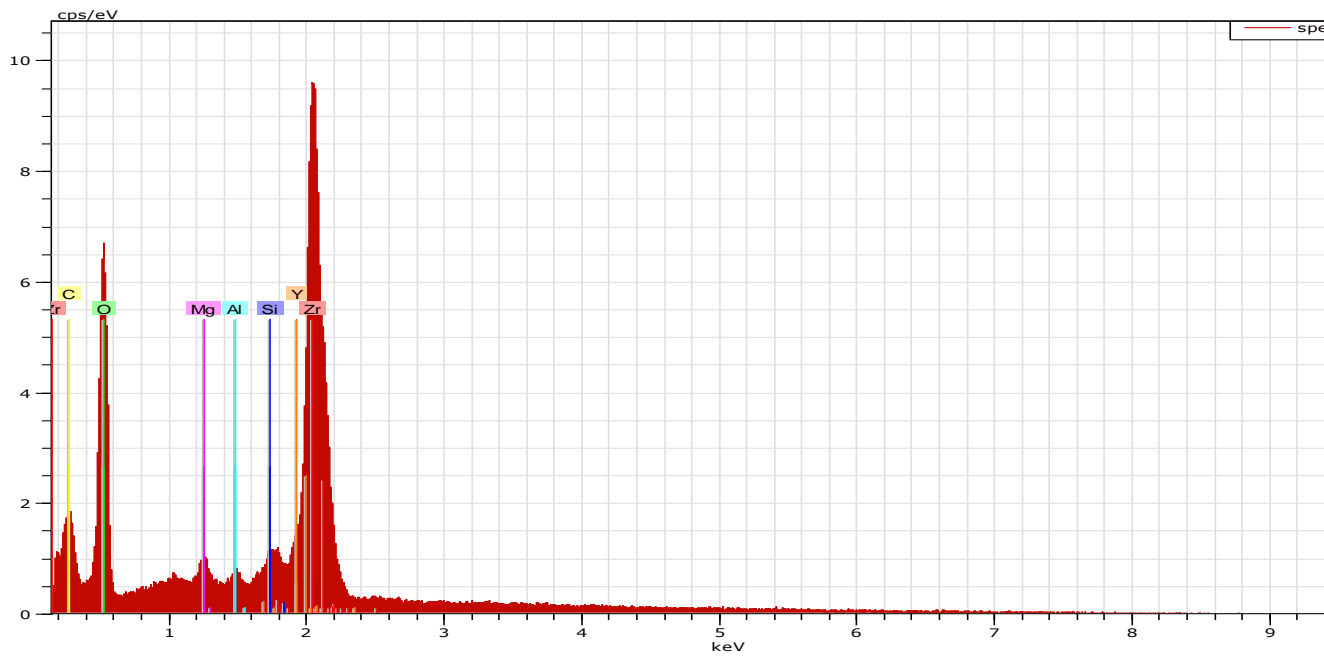


Figure III.17: Image MEB et spectre EDX, de la surface.

III.3.5 les électrodes :

Les électrodes sont des éléments importants, elles influencent les performances de capteur, sensibilité, sélectivité figure III.18.

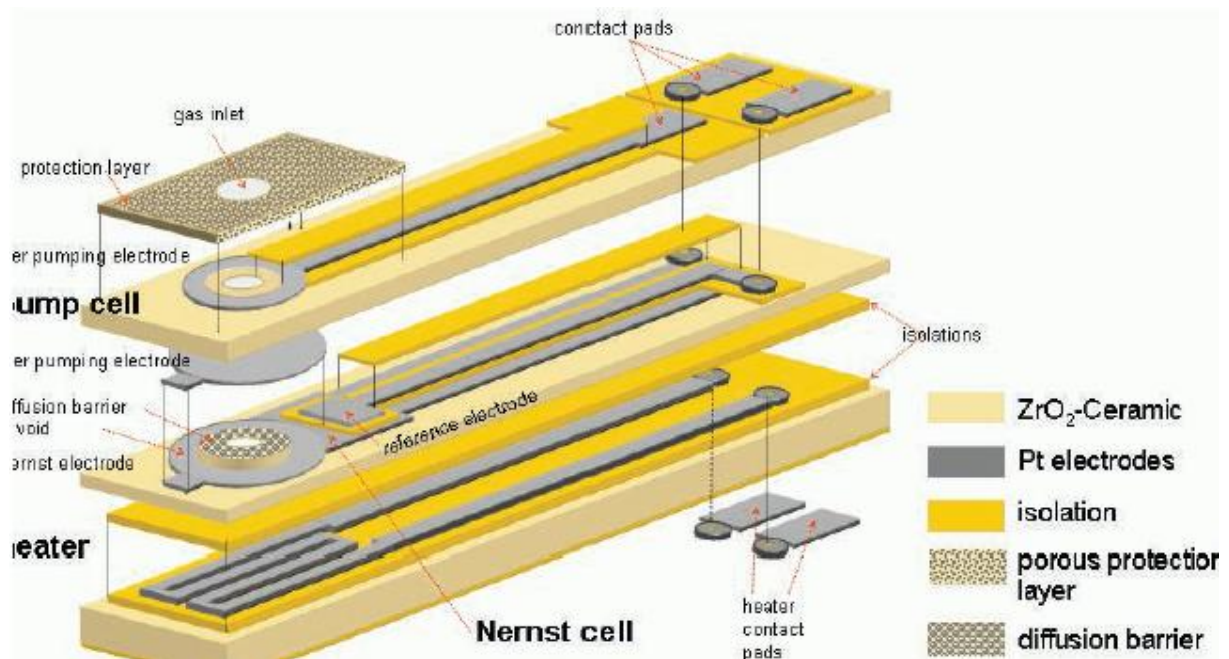


Figure III.18 : Schéma synoptique, de la sonde lambda

Donc pour assurer une bonne reproductibilité, une dispersion homogène les électrodes choisies doivent contenir une très faible quantité des additifs car une faible quantité peut influencer la réponse du capteur et donc sur l'efficacité du catalyseur.

En général avant l'utilisation des encres une analyse par spectrométrie d'émission ICP est effectuée pour vérifier la concentration des additifs, dans le tableau suivant on présente exemple des résultats obtenus pour des encres de platine et l'or de la société ESL.

Tableau III.3: Ingrédients métallique de l'encre Pt (ESL 5545) et Au (ESL 8880-H).		
	Pt (ESL 5545)	Au (ESL 8880_H)
Al [ppm]	2214	58
As [ppm]	interfère	3
Ba [ppm]	31	2
Bi [ppm]	9440	16
Ca [ppm]	1696	202
Cd [ppm]	4	31844
Co [ppm]	29	1
Cr [ppm]	9	2
Cu [ppm]	0.2	2043
Fe [ppm]	1448	26
La [ppm]	0.5	0.1
Mn [ppm]	14	1.3
Ni [ppm]	8	1.5
Pb [ppm]	26074	8
Sb [ppm]	55	0.4
Se [ppm]	34	5
Ti [ppm]	32	2
Zn [ppm]	9993	34

Les électrodes de La sonde lambda NO_x, intégré dans les automobiles Peugeot, en platine, la largeur des conducteurs de mesure est 45.84 µm,

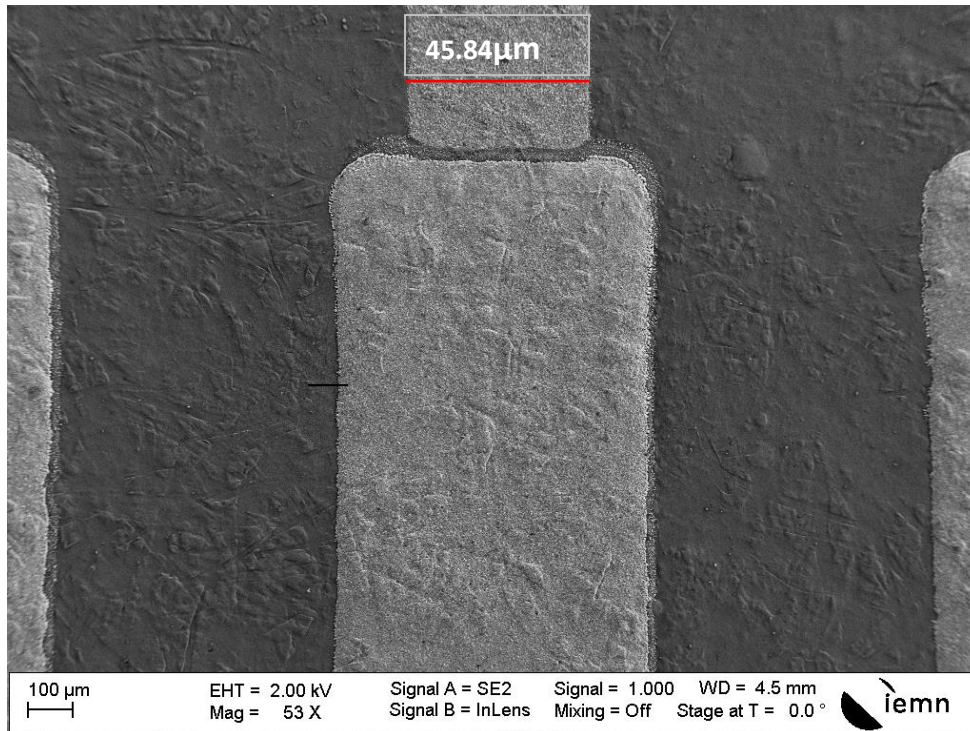


Figure III.19 : ligne conductrice et plots de soudure.

III.3.6 Connectique et encapsulation des capteurs

Afin de nous permettre plus facilement d'alimenter la résistance de chauffage, de mesurer le signal de l'élément sensible, et protéger le capteur contre les projections d'eau, huiles et des particules de grand taille présentes dans la ligne d'échappement, aussi des contraintes mécaniques, un ensemble des éléments ajoutés au capteur (figure) :

- **Connecteur** : Nous trouvons une connectique soudée sur les plots de soudure des deux côtés des capteurs. Chaque connecteur est positionné dans un joint d'étanchéité faisceau et reliés à des conducteurs qui permettant ensuite de connecter les capteurs à une carte électronique.
- **Le tube de protection métallique** : permet d'une part d'assurer son maintien mécanique et de protéger le capteur des projections d'eau de huiles aussi les chocs avec les particules de grand taille présentes dans la ligne d'échappement, d'autre part le passage des gaz d'échappement à partir des trous.
- **Joint** Le joint à lèvres métallique garantit l'étanchéité entre la sonde lambda et le système d'échappement.
- **Support céramique** En effet, le choc mécanique généré par les vibrations de la ligne d'échappement peut endommager le capteur, d'où utilité d'un support en céramique maintient l'élément zirconium.

- **Corps métallique** Le corps métallique permet de visser la sonde dans le système d'échappement tel un écrou. Il est impératif de serrer la sonde au couple requis avec un outil adapté.
- **Joint caoutchouc ou Joint étanchéité faisceau** Le joint d'étanchéité du faisceau en caoutchouc vient sceller le faisceau dans le corps métallique du capteur afin d'empêcher la pénétration d'eau à l'intérieur de la sonde.

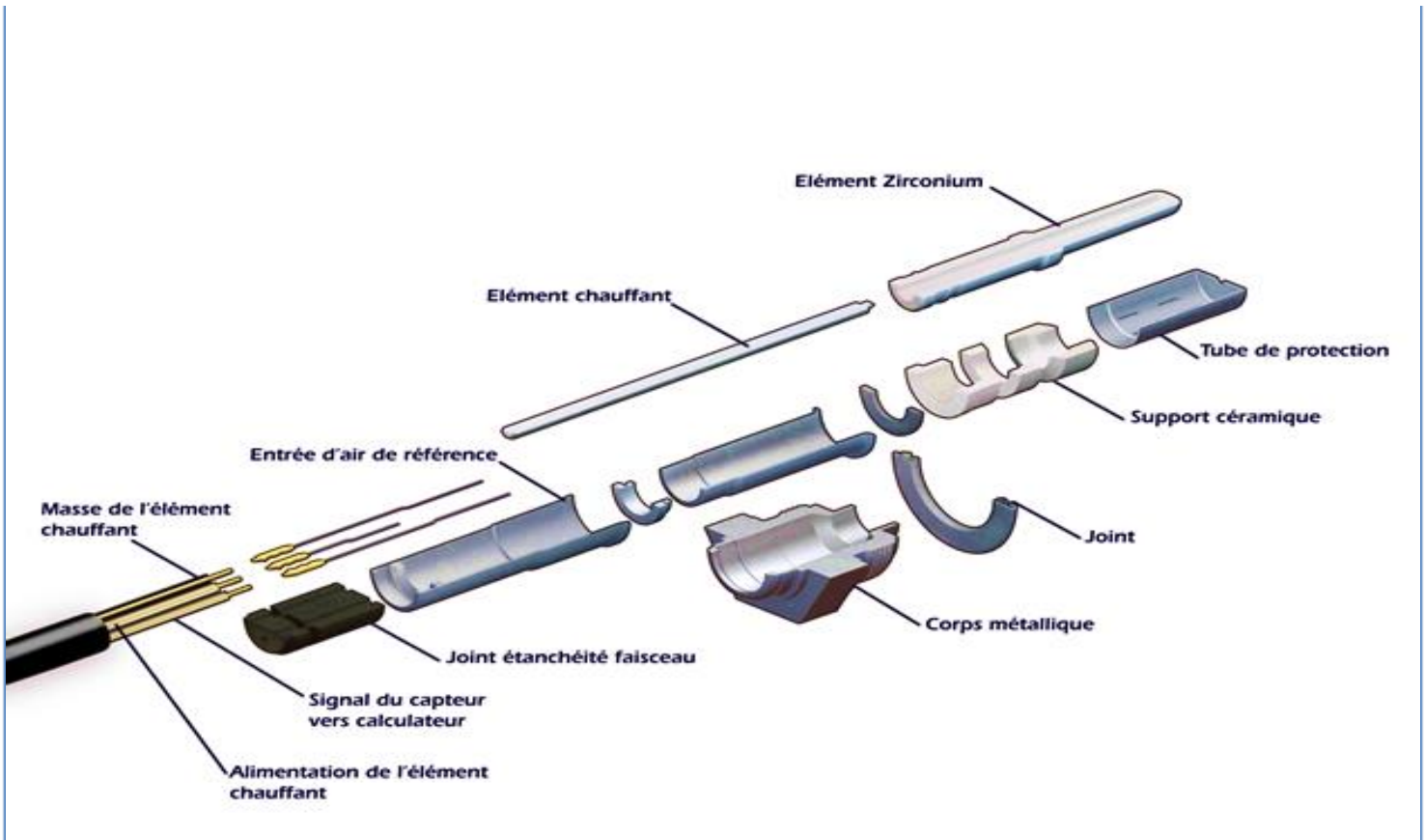


Figure III.20 Structure d'une sonde lambda.

Conclusion :

L'analyse des capteurs de gaz à base de zircone a été présentée, de plus les différents types de capteur intégré dans les véhicules automobile.

Une partie du travail de mon stage a été consacré au traitement d'un capteur intégré dans les véhicules diesel. Objectif est de valider l'étude théorique.

Référence :

1. Thomas; sahner, Kathy trends in automotive exhaust gassensing.
2. Jing gao, étude et mise au point d'un capteur de gaz pour la détection sélective de nox en pot d'échappement automobile.
3. Nicolas docquier, sébastien candel ; combustion control and sensors.
4. Gérard. zircone céramique fonctionnelle
5. <https://www.ngk.de/fr/produits-technologies/sondes-lambda/technologies-des-sondes-lambda/sondes-speciales/sonde-nox/>
6. F.Schubert, s. Wollenhaupt, j. Kita, g. Hagen, and r. Moos, platform to develop exhaust gas sensors manufactured by glass-solder-supported joining of sintered yttria-stabilized zirconia.
7. Ralf moos ; a brief overview on automotive exhaust gas sensors based on electro ceramics

Chapitre IV

Transistor HEMT GaN pour capteur de gaz.

Ce chapitre propose une présentation sur les principaux paramètres physiques et électroniques de technologie GaN, nous voyons qu'il occupe une place importante pour la production de système de puissance hyperfréquence. Nous établirons ensuite les principales propriétés de l'hétérojonction AlGaN/GaN et du gaz 2D, conduisant au développement des structures HEMT, le principe de fonctionnement de HEMT sera également rapporté.

Nous finirons le chapitre par une description de sensibilité de transistor HEMT au gaz NO, NO₂, et NH₃.

CHAPITRE IV. Transistor HEMT GaN pour capteur de gaz	62
IV.1 Introduction	63
IV.2 Le nitrure de gallium	63
IV.2.1 Bande interdite	63
IV.2.2 Champ de claquage et champ critique.	64
IV.2.3 Mobilité des électrons	64
IV.2.4 Conductivité thermique, conductivité électrique, résistivité.....	65
IV.2.5 Densité de porteurs intrinsèques.	66
IV.2.6 Synthèse.....	67
IV.3 Le transistor HEMT GaN.....	68
IV.3.1Principe de fonctionnement.....	68
IV.3.2Principe de l'hétérojonction AlGaN/GaN.....	69
IV.4 : Sensibilité de l'hétérostructure AlGaN/GaN au NO, NO ₂ et NH ₃	70
IV.5 Conclusion	73
Référence.....	74

IV.1 Introduction général

Le silicium est actuellement le matériau semi-conducteur le plus utilisé pour la fabrication des composants électroniques, mais sa bande assez étroite $E_g \sim 1,2 \text{ eV}$, et son faible champ électrique de claquage ($E_b \sim 20 \text{ V}/\mu\text{m}$), ne sont pas favorables pour la réalisation des composants hyperfréquences.

Depuis le début des années 90, une nouvelle génération des composants électroniques à base de matériaux III-V dits grand gap tels que le GaN, les matériaux à grande largeur de bande interdite constituent un axe prometteur pour le développement des systèmes haute fréquence allant à la bande E (la bande de fréquence entre 8GHz et 90GHz), et haute puissance, destinés aux télécommunications, militaire (radar, brouilleur, guerre électronique..), le transport, et domaine spatial.

Ces technologies permettent de réaliser des transistors de haute mobilité électronique, parmi lesquels les transistors (HEMTs) à base GaN qui sont devenus des candidats idéaux pour les applications hyperfréquences à haute puissance et haute température. Les HEMTs caractérisés par des tensions de claquage très élevées, vitesse de saturation et de mobilité élevée, ces dernières années les transistors HEMT GaN ont reporté une meilleure sensibilité au NO, NO₂ et de gaz NH₃.

IV.2 Le nitrure de gallium

IV.2.1 Bande interdite ou gap.

Entre la bande de conduction et la bande de valence se trouve un intervalle d'énergie dans lequel un électron ou un trou ne peuvent pas se retrouver, appelé bande interdite ou gap (E_g). Plus la valeur de gap est élevée plus l'énergie (excitation thermique par exemple) que doit avoir un porteur de la bande de valence pour passer dans la bande de conduction doit être élevée.

La température de fonctionnement maximale de composante électronique dépend de la bande interdite, en effet la largeur de la bande interdite décroît avec la température suivant l'équation EQIV.1 :

EQIV.1

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{T + \beta}$$

Grande bande interdite permet de créer des hétérojonctions avec des fortes discontinuités, d'où une densité élevée des porteurs dans le canal, c'est-à-dire la densité de courant, le GaN représente une bande interdite élevée par rapport au Si, figure(IV.1)

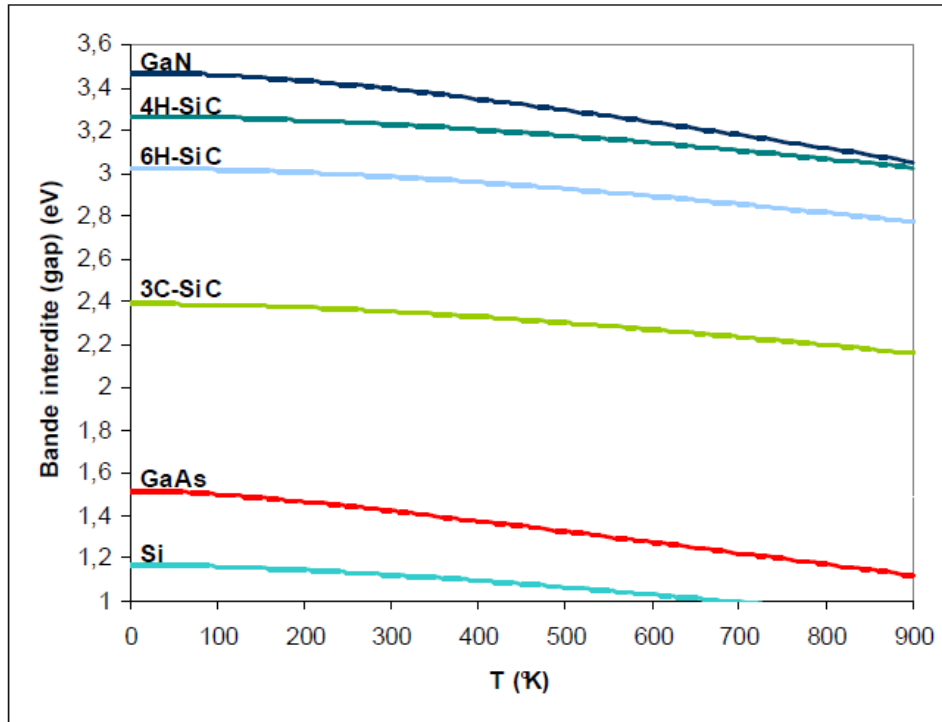


Figure IV.1 : Bande interdite en fonction de la température pour différents semi-conducteurs.

D'après la figure ci dessus, on peut remarquer que le GaN, possède un gap important comparé aux autres matériaux. La Bande interdite élevée favorise l'obtention d'une résistivité à la température et à la radiation élevée.

IV.2.2 Champ de claquage ou champ critique E_c

Le champ de claquage définit la tension supportée par les composants, plus le champ critique élevé plus la réalisation de transistors de tension de fonctionnement élevé donc les performances en puissance favorable, La valeur de ce champ de claquage est liée à la largeur de bande interdite par la fonction suivante EQIV.2 :

EQIV.2 :

$$E_c \sim E_g^{\frac{3}{2}}$$

Ce qui traduit que plus le gap d'énergie est important, plus le champ de claquage est élevé voire figure suivante :

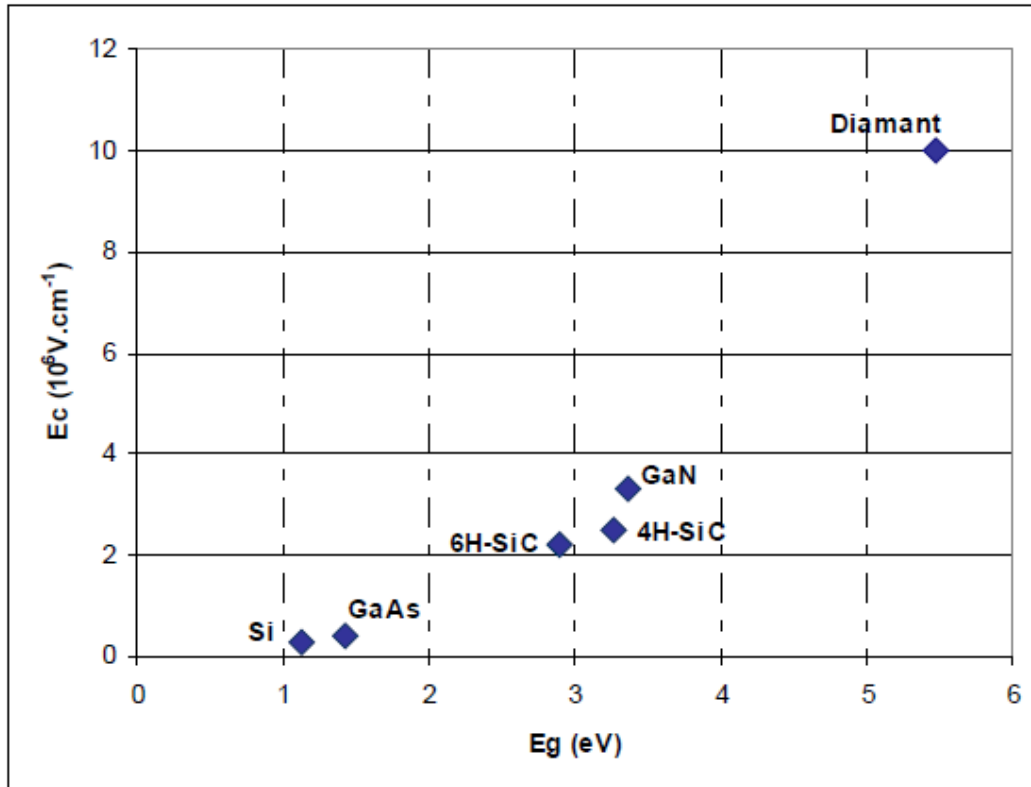


Figure IV.2 : Champ de claquage en fonction de la largeur de la bande interdite pour différents matériaux Semi-conducteurs.

IV.2.3 Mobilité des porteurs de charge (μ)

Pour les valeurs élevées du champ électrique, la mobilité dépend du champ, et la loi de dépendance varie d'un matériau à l'autre en fonction de la nature de la structure de bandes du semi-conducteur.

Tableau III.4: mobilité des électrons de différents semi- conducteurs.	<i>Si</i>	<i>AsGa</i>	<i>GaN</i>	<i>Diamant</i>
μ_n ($cm^2/V.s$) (Mobilité des électrons)	1350	8500	900 à 1300	1900

Au vue du Tableau 1, nous observons que la mobilité est plus faible dans le Si que dans le GaN. Néanmoins, utiliser une structure HEMT GaN à canal non dopé permet d'atteindre une mobilité maximale ce qui entraîne une diminution de la résistance parasite et une diminution des pertes et donc une augmentation de gain. Ces avantages permettent de réaliser des systèmes électroniques à haute fréquences et/ou à de fortes températures.

IV.2.4 Conductivité thermique, Conductivité électrique, résistivité.

La conductivité thermique K est un paramètre très important définissant la capacité de conduction de la chaleur par un composant, cette grandeur représente l'énergie (quantité de chaleur) transférée par unité de surface et de temps sous un gradient de température de 1 K ou 1°C par mètre. En effet plus la conductivité thermique élevée plus la capacité de dissipation de chaleur est importante.

Selon la loi de Weidman-Franz, la conductivité thermique (notée K , unité : W/cm.K) est liée à la conductivité électrique par :

$$K = L.T.S \quad \text{EQIV.3}$$

Où L est le nombre de Lorentz ($2,45.10^{-8} \text{ W.}_/K^2$), T la température en K, K la conductivité thermique en $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$. La conductivité électrique (notée S , unité : S/m) et la résistivité (notée σ , unité : $\Omega.m$) d'un matériau sont définis par les formules suivantes EQIV.4 :

$$\sigma = q n\mu + p\mu \quad ; \quad \rho = 1/\sigma \quad \text{EQIV.4}$$

L'idéal serait d'avoir des composants présentant de fortes conductivités thermiques. Cela permettrait l'évacuation de la puissance dissipée sans échauffement important, on constate dans le tableau suivant que les semi-conducteurs l'AsGa, InN et l'InP sont de mauvais conducteurs thermiques, par contre GaN, l'AlN et SiC présentent une conductivité thermique plus élevée, par conséquent la dissipation de la chaleur au sein de ce matériau est plus rapide. Mais la conductivité thermique du diamant est nettement supérieure à tous les autres matériaux, c'est le meilleur matériau pour dissiper la chaleur qui est donc à privilégier pour les applications de puissances hyperfréquences, mais la technologie récente ne permet pas de fabriquer des échantillons adaptés à la fonctionnalité demandée.

Matériaux	GaN	AlN	InN	SiC	Si	AsGa	InP	Diamant
Conductivité thermique K (W/cm.K)	1.5	2	0.45	4.2	1.5	0.5	0.7	20

Tableau III.5 : Conductivité thermique des différents matériaux.

La résistance thermique (notée R_{th}) est inversement proportionnelle à la conductivité thermique et directement liée à la puissance dissipée :

$R_{th} \propto K$ et $R_{th} = \Delta T / P_{diss}$, où ΔT est l'élévation de la température en K et P_{diss} , la puissance dissipée
En W.

IV.2.5 Densité de porteurs intrinsèques

Un semi-conducteur intrinsèque est un semi-conducteur non dopé, c'est à dire qu'il contient peu d'impuretés. À la température de 0K, il n'y a pas de porteur de charge c.-à-d la bande de conduction est vide et la bande de valence saturée, sous l'effet de la température les électrons

passent de la bande de valence à la bande de conduction, Leur concentration est alors nommée densité de Porteurs intrinsèques notée n_i (cm^{-3}) dont l'expression est EQIV.5:

$$n_i = \sqrt{N_c N_v} \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right) \quad \text{Avec} \quad N_c = \int_{E_c}^{+\infty} N_c(E) \cdot \exp\left(-\frac{E-E_c}{kT}\right) dE \quad (\text{EQIV.5})$$

Où N_c et N_v sont les densités équivalentes (ou effectives) d'états. Elles représentent en quelque sorte le nombre d'états utiles, à la température T , dans leur bande d'énergie respective.

Dans la bande de valence, il y a la même quantité de trous que d'électrons. La densité de porteurs intrinsèques dépend exponentielle de la température. Plus la température est importante, plus la valeur de densités de porteurs est forte et plus le courant de fuite correspondant le sera également. La densité de porteur est un des paramètres essentiels à prendre en compte pour des applications à hautes températures.

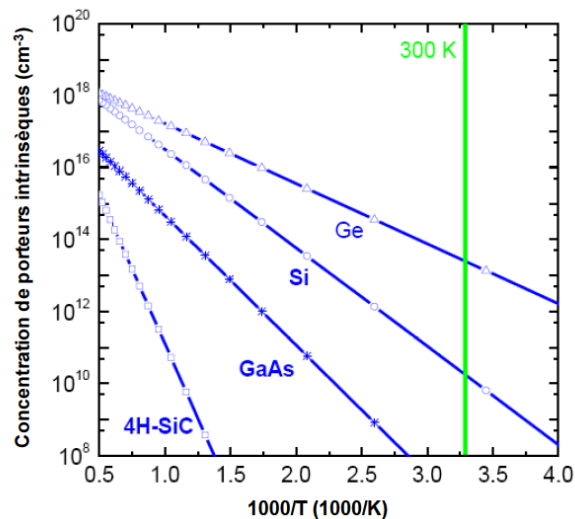


Figure IV.3 : Concentration intrinsèque des porteurs pour différents semi-conducteurs en fonction de la Température.

IV.2.6 Synthèse

Le fonctionnement possible à haute température est lié aux possibilités d'obtenir simultanément conductivité thermique élevée, une large bande interdite et une mobilité des électrons élevée. La figure suivante résume l'intersection entre les propriétés des matériaux et les performances des composants.

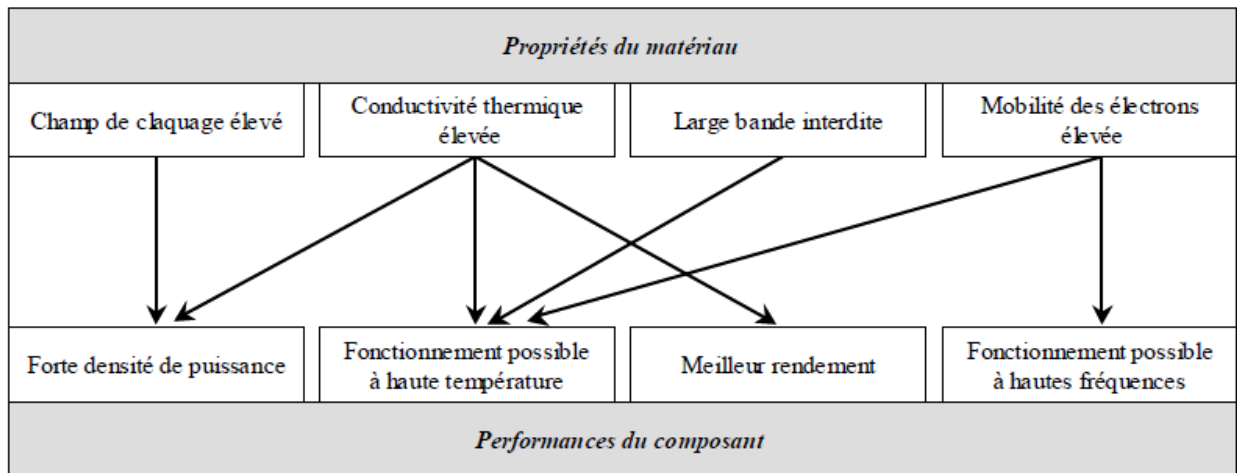


Figure IV.4 Influence des propriétés des matériaux sur les performances en puissance aux fréquences Micro-ondes des composants.

IV.3 Transistor HEMT ALGaN/GaN.

Le transistor à haute mobilité électronique HEMT est un transistor à hétérojonctions à effet quantique, apparus en 1980 par les équipes de Thomson CSF et de Fujitsu, connu aussi sous le nom TEGFET (Two-Dimensional Electron Gas Field Effect Transistor), MODFET (Modulation Doped Field Effect Transistor).

IV.3.1 Principe de fonctionnement

Le transistor HEMT est à l'origine un composant faible bruit et de faible consommation d'énergie est composée principalement de trois couches de matériaux (Figure IV.5).

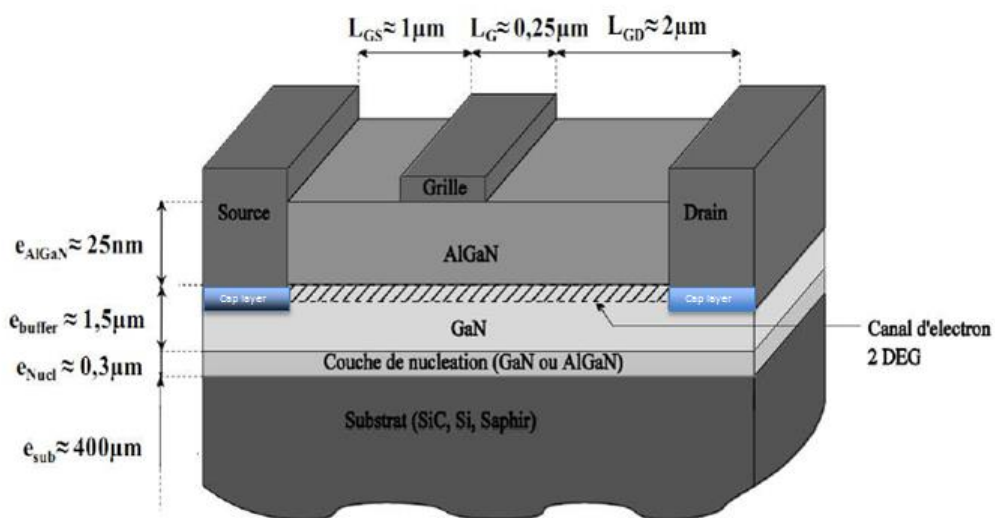


Figure IV.5 Structure standard d'un transistor AlGaN/GaN HEMT sur substrat SiC

Le principe de fonctionnement d'un transistor HEMT est celui d'un FET : réside dans le fait que le courant circulant entre les deux électrodes de drain et de source est contrôlé par l'application d'un champ sur une grille.

Le transistor HEMT constitue de plusieurs couches :

- Cap layer : formée par un matériau de faible bande interdite et fortement dopée, objectif de cette couche est de réaliser les contacts ohmiques de faible résistivité de source et drain.
- Couche Schottky résultat de contact entre Grille et couche AlGaN grand gap. La couche donneuse AlGaN une couche dopée, permet de fournir les électrons libres et l'augmentation de la concentration.
- Minimiser les interactions entre électrons et les impuretés permet d'obtenir un meilleur transfert d'électrons dans le canal, pour cela une couche grand gap non dopée est déposée entre la couche AlGaN et le canal.
- Le canal de conduction est formé par la jonction de deux matériaux (l'AlGaN et le GaN) ayant des hauteurs de bande interdites différentes créant une hétérojonction, qui permet la séparation des atomes donneurs ionisés des électrons libres, d'où une mobilité d'électrons élevée. Cette couche est appelée gaz d'électrons à deux dimensions (2DEG : 2 Dimensional Electron Gas).
- La couche tampon déposée entre le substrat et le canal, permet une croissance meilleure du GaN, favorise le confinement des électrons en s'interposant à l'injection des porteurs vers le substrat.

Toutes ses couches sont épitaxiales sur un substrat semi-isolant qui sert de support mécanique, en effet un mauvais choix de substrat peut causer lors de la croissance des dislocations, qui peuvent rendre le composant non fonctionnel.

IV.3.2.Principe de l'hétérojonction AlGaN/GaN.

Afin de mieux comprendre le fonctionnement du transistor HEMT nous allons présenter brièvement la structure et principe de l'hétérojonction AlGaN/GaN.

Hétérojonction ou hétérostructure résultat de juxtaposition de deux matériaux dont les largeurs des bandes interdites sont différentes. AlGaN est caractérisé par le large bande interdite 3.82eV , GaN faible gap 3.4eV .

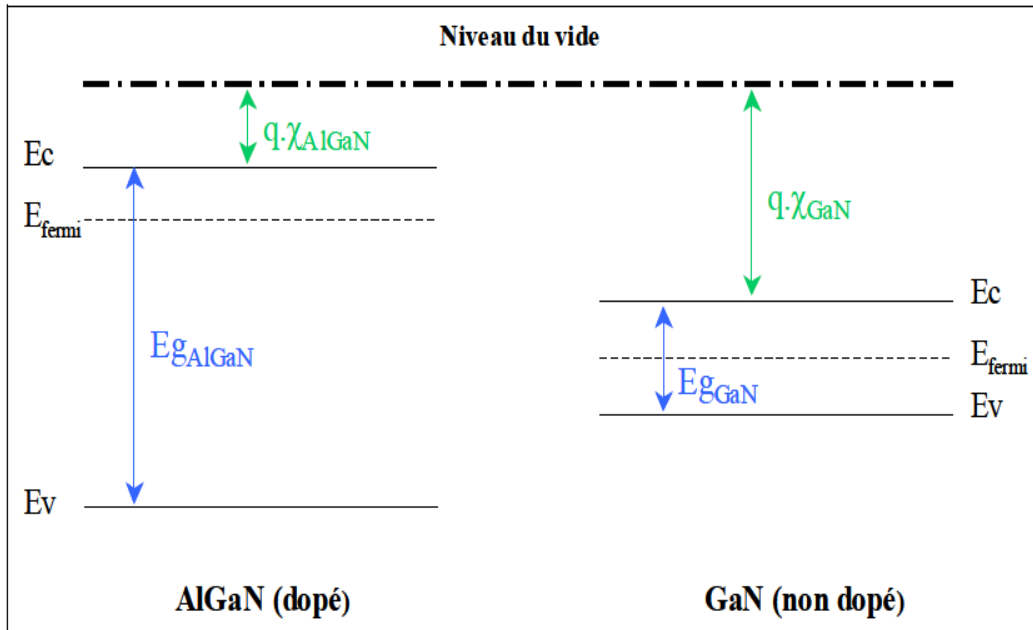


Figure IV.6 : Niveaux d'énergie des matériaux mis en jeu dans l'hétérojonction.

Du fait des règles d'Anderson, les niveaux de Fermi des deux matériaux s'alignent lors de la jonction. De la juxtaposition des deux couches résulte une discontinuité de la structure de bande d'énergie à l'interface ΔE_c représenté sur la figure IV.7, cette structure permet la création d'un gaz d'électrons dans le canal peu dopé favorisant la montée en fréquence.

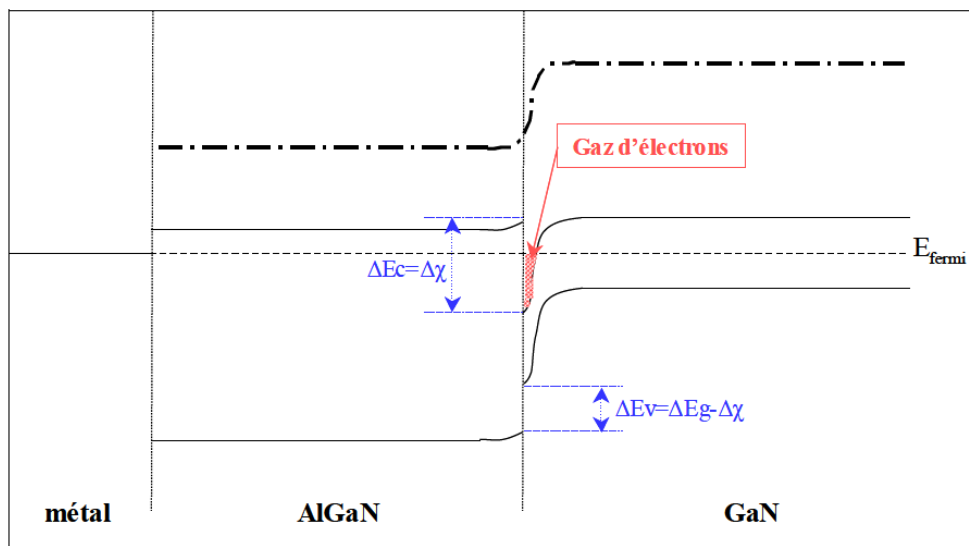


Figure IV.7 : Niveaux d'énergie des matériaux à l'hétérojonction pour une tension appliquée nulle.

IV.4 : Sensibilité HEMT ALGaN/GaN au NO, NO2 et de gaz NH3.

La variation de courant drain-source lorsque le potentiel drain-source est maintenue constante, est fortement liée à la variation du potentiel sous la grille. Le courant drain-source est donné par l'expression suivante :

$$I_{ds} = \frac{\epsilon W_g}{d} [v(x)(V_{gs} - V_{th} - EF)] \quad \text{EQIV.6}$$

Avec ϵ est la permittivité de la couche $\text{Al}_m\text{Ga}_{1-m}\text{N}$, W_g est la largeur de grille, d est l'épaisseur de la couche AlGaN , V_{gs} tension appliqué entre grille-source.

Selon cette équation, la tension de grille a un effet direct sur le courant canal I_{ds} . Toute variation de la polarisation de grille V_{gs} induit un changement dans le courant I_{ds} mesuré.

L'adsorption des molécules gazeuses sur la couche fonctionnelle, comme représenté sur la figure IV.8, conduit à des changements de potentiel de surface, ce qui entraîne une variation importante de courant I_{ds}

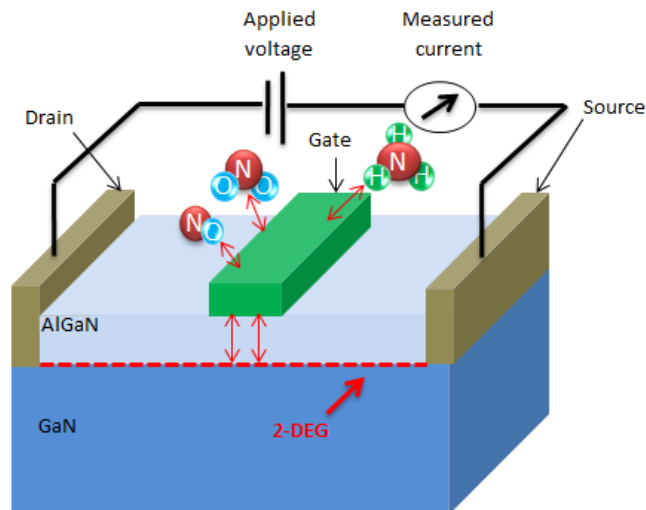


Figure IV.8 : Mécanisme de détection des gaz pour les transistors à haute mobilité d'électrons HEMT $\text{AlGaN} / \text{GaN}$

Le travail suivant a été réalisé à l'institut d'électronique de microélectronique et de nanotechnologie. Plusieurs capteurs ont été fabriqués sur le même échantillon (contenant plus de 60 capteurs). La figure IV.9 montre la réponse de capteur aux trois gaz cibles, NO , NO_2 et NH_3 à 300°C . Avantage de capteur il présente une réponse, même pour des faibles concentrations de NO et de NO_2 (100 ppm) et à des concentrations aussi faibles que 3 ppm pour NH_3 . A partir de ces courbes, on calcule la sensibilité, permettant de quantifier les performances des capteurs, en utilisant :

$$S = \frac{I_{N_2} - I_{gas}}{I_{gas}} \quad \text{EQIV.7}$$

Avec I_{N_2} et I_{gas} sont le courant de drain sous flux de N_2 et le gaz, respectivement.

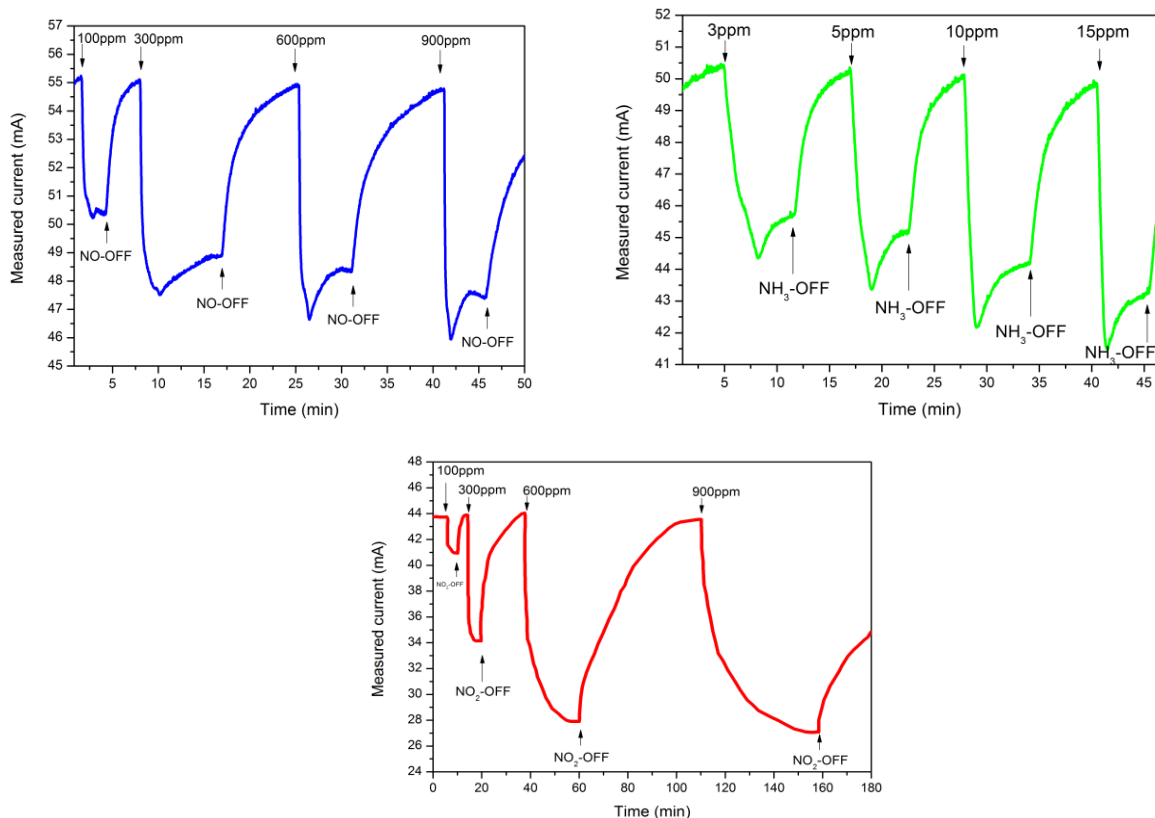


Figure IV.9: Réponse du capteur HEMT Pt-AlGaN / GaN (a) NO; (B) NH3; (c) NO2.

Etat de l'art sur le développement des capteurs NO, NO2 et NH3 à base de transistor HEMT GaN.

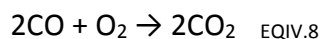
Le défi majeur aujourd'hui réside dans l'amélioration de sélectivité et la sensibilité de capteur HEMT GaN aux gaz NO, NO2 et NH3. Car le problème majeur reste l'interférence venant des autres gaz polluants et réactifs dans le pot d'échappement, d'autre part la température de fonctionnement optimal de transistor HEMT GaN faible par rapport à la température des lignes d'échappement. Pour cela un ensemble des problèmes est à prendre en considération pour atteindre l'objectif du projet :

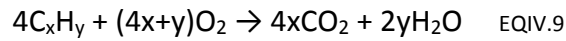
Les électrodes :

La sélectivité et la sensibilité sont majoritairement dépendantes de la nature des électrodes. Une des solutions plus simple pour améliorer les propriétés de détection consiste dans le choix du matériau d'électrode.

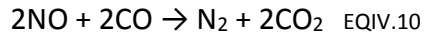
Le platine est le matériau le plus utilisé. Ses performances dépendent naturellement de la température de fonctionnement.

Le traitement des HC et du CO se fait par une réaction d'oxydation catalysée par du **platine** ou du **palladium**, d'où permet d'amélioré la réponse de capteur vers NO_x





Le traitement des NO₂ est réalisé par une réaction de réduction catalysée par du **rhodium**, donc, avantage pour amélioré la réponse vers CO, et HC.



Protection thermique:

La température de fonctionnement optimale du transistor HEMT GaN, environ 600 °C, et la température des lignes d'échappement 1000°C, insupportable par les transistors HEMT, cependant il faut essentiellement focaliser l'étude sur un système capable de réduire l'effet de la température sur le capteur.

Isolation source et drain :

Le contact des gaz avec la source et drain de transistor, influence la réponse de capteur, donc il faut aussi focalisés l'étude sur des techniques pour isolée ses électrodes.

Conclusion :

Le transistor HEMTs montre une réponse favorable pour les trois gaz cibles, NO, NO₂ et NH₃ à 300 ° C. Même pour des faibles concentrations de NO et de NO₂ (100 ppm) et à des concentrations aussi faibles que 3 ppm pour NH₃.

Objectif de projet CLENNAGE d'une part améliorer la sélectivité de capteur, d'autre part l'innovation des solutions pour adapter la température de fonctionnement optimal de transistor HEMT GaN par rapport à la température des lignes d'échappement.

Référence :

- 1 - Yacine Halfaya, Chris Bishop, Ali Soltani, Suresh Sundaram, Vincent Aubry, Paul L. Voss, Jean-Paul Salvestrini, and Abdallah Ougazzaden; Investigation of the Performance of HEMT-Based NO, NO₂ and NH₃ Exhaust Gas Sensors for Automotive Antipollution Systems.
- 2- Audrey PHILIPPON – MARTIN Étude d'une nouvelle filière de composants sur technologie nitrure de gallium Conception et réalisation d'amplificateurs distribués de puissance large bande à cellules cascodes en montage flip -chip et technologie MMIC.
- 3- Nicolas Thierry-Jebali Caractérisations et modélisations physiques de contacts entre phases métalliques et Nitrure de Gallium semi-conducteur
- 4- Guillaume CALLET Caractérisation et Modélisation de Transistors HEMT AlGa_N/Ga_N et InAlN/Ga_N pour l'Amplification de puissance en Radio-Fréquences.
- 5- Thi Dak Ha Nguyen Réalisation et caractérisation de HEMTs AlGa_N/Ga_N sur silicium pour applications à haute tension.
- 6- Guilhem Astre, Fiabilité des dispositifs HEMT en technologie Ga_N

Chapitre V

PILOTAGE INFORMATIQUE

CHAPITRE IV. Pilotage informatique.....	75
V.1 introduction.....	76
V.2 Interface graphique sous Matlab.....	76
V.2.1 Vue d'ensemble.....	76
V.2.2 Connexion.....	77
V.2.3 Info défauts.....	77
V.2.4 Capteurs	78
V.2.5 Capteurs d'oxygène.....	79
V.2.6 Help.....	79

V.1 introduction

Le bus CAN (Controller Area Network) est un système de communication série dans les véhicules automobiles, permet d'intégrer de plus en plus de commandes électroniques.

Le courant généré par le mouvement de l'oxygène au travers de la sonde varie de 0.1 à 0.9 V, d'où la nécessité de construire un système électronique capable de traduire le signal mesure au protocole CAN/OBDII, et d'autre part adapter la puissance entre le capteur et le bus CAN, pour plus de détails voir annexe 1.

Pour suivre le flux d'informations et l'échange des données d'une manière efficace dans le bus CAN, nous disposons d'une interface visuelle Homme/Machine développée sous le logiciel Matlab, avec une interface USB.

Nous avons choisi ce langage à cause sa puissance en gestion d'entrées-sorties et son adaptation au niveau logiciel. Nous permet lors de ce projet de développer des interfaces graphiques pour la lecture et l'écriture en temps réel dans le bus CAN, aussi la visualisation des différentes grandeurs mesurées.

V.2 Interface graphique sous Matlab

Nous avons réalisé une interface graphique ergonomique. Nous avons travaillé avec une unique figure mais plusieurs layouts, nous avons donc par la suite présenté les différents layouts.

V.2.1 Vue d'ensemble

Comme son nom l'indique, c'est la page principale d'utilisation. Il y a toutes les Informations utiles pour gérer flux des informations, se compose de plusieurs zones principales comme décrit ci-dessous :

Menus : contient les différents menus principaux du logiciel :

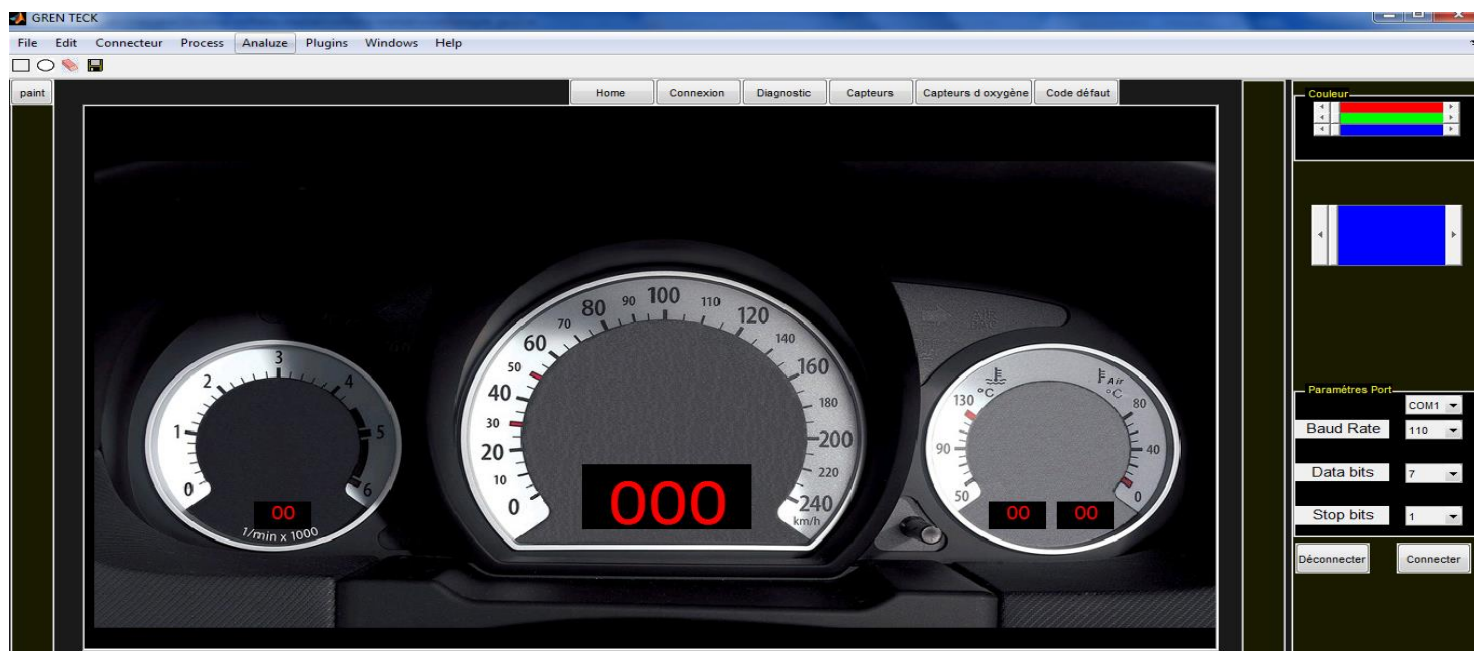
- Connexion contient Paramètres de communication USB.
- Connecteur pour localiser votre prise OBD
- Interface pour voir les paramètres de l'interface
- Calculateurs permet de sélectionner le calculateur que l'on souhaite diagnostiquer.
- S'enregistrer pour enregistrer un résultat afficher sur la figure.
- Aide pour lancer le présent fichier d'aide et connaître Info sur le développeur.

Onglets : représente les différents onglets de la fenêtre principale. Les fonctions de ces différents onglets sont décrites plus en détails dans les pages suivantes

Barre de statut : Elle affiche l'état actuel du logiciel.

- L'état de la liaison avec bus CAN (connecter /déconnecter)
- Modifier couleur du graphe
- Lancer et arrêter l'acquisition.

- Fermer application.



V.2.2 Connexion

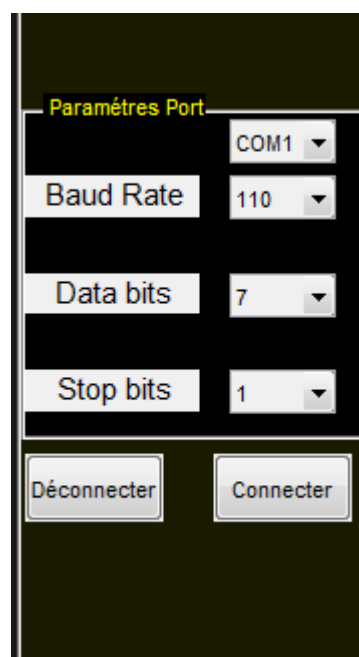
La première chose à faire à l'ouverture de l'application est d'établir la connexion au véhicule par le biais de l'interface. Pour établir la communication entre l'interface graphique et la carte d'acquisition des données nous suivons le chemin suivant :

Menu ----> Connexion.

Après il suffit de choisir le port de communication, vitesse de transfert, bit de stop, et de cliquer sur le bouton Connecter pour établir la liaison. Déconnecter pour déconnexion.

V.2.3 Info défauts :

Dans ce layout, nous présentons une liste des codes défauts e: air/carburant, système d'allumage et contrôle des émissions a par un tableau sur lequel nous avons placé les valeurs suivantes :



- Code PID.
- Description.
- valeur.

Codes de P0000 à P0299

Codes défauts de P0000 à P0299 (contrôle du dosage air/carburant)

PID	Description	Valeur
1	P0000	Aucune panne détectée
2	P0001	Commande de régulateur de volume de carburant - circuit ouvert
3	P0002	Commande de régulateur de volume de carburant - plage de mesure/performance du circuit
4	P0003	Commande de régulateur de volume de carburant - circuit trop bas
5	P0004	Commande de régulateur de volume de carburant - circuit trop haut
6	P0005	électrovanne de coupure carburant - circuit ouvert
7	P0006	électrovanne de coupure carburant - circuit trop bas
8	P0007	électrovanne de coupure carburant - circuit trop haut
9	P0008	Calage moteur, ligne 1 - performance du moteur
10	P0009	Calage moteur, ligne 2 - performance du moteur
11	P0010	Capteur d'arbre à cames d'admission, ligne 1 - panne du circuit
12	P0011	Position d'arbre à cames, ligne 1 - calage excessivement avancé/performance du système
13	P0012	Position d'arbre à cames, ligne 1 - calage excessivement retardé
14	P0013	Capteur d'arbre à cames d'échappement, ligne 1 - panne du circuit
15	P0014	Capteur d'arbre à cames d'échappement, ligne 1 - calage excessivement avancé/performance ...
16	P0015	Capteur d'arbre à cames d'échappement, ligne 1 - calage excessivement retardé
17	P0016	Position du vilebrequin/position d'arbre à cames, ligne 1 capteur A - corrélation
18	P0017	Position du vilebrequin/position d'arbre à cames, ligne 1 capteur B - corrélation
19	P0018	Position du vilebrequin/position d'arbre à cames, ligne 2 capteur A - corrélation
20	P0019	Position du vilebrequin/position d'arbre à cames, ligne 2 capteur B - corrélation
21	P0020	Capteur d'arbre à cames d'admission, ligne 2 - panne du circuit
22	P0021	Position d'arbre à cames d'admission, ligne 2 - calage excessivement avancé
23	P0022	Position d'arbre à cames d'admission, ligne 2 - calage excessivement retardé
24	P0023	Capteur d'arbre à cames d'échappement, ligne 2 - panne du circuit
25	P0024	Position d'arbre à cames d'échappement, ligne 2 - calage excessivement avancé
26	P0025	Position d'arbre à cames d'échappement, ligne 2 - calage excessivement retardé

V.2.4 Capteurs :

Ce layout répertorie les PID des capteurs, description et la valeur mesure pour chaque capteur, exemple température liquide de refroidissement, pression carburant, pression tubulure d'admission.

La liste des capteurs est automatiquement affichée suivant la configuration du véhicule.

Plusieurs améliorations possibles à ajouter, exemple la possibilité de visualiser les capteurs du véhicule à l'aide des fonctions Graphiques.

Home Connexion Diagnostic **Capteurs** Capteurs d oxygène Code défaut

Codes Lire Mode 1
Codes défauts de P0000 à P0299 (contrôle du dosage air/carburant)

PID	Description	Valeur
1 4	Charge moteur calculée en %	
2 5	Température du liquide de refroidissement moteur en °C	
3 6	Ajustement à court terme du carburant voie 1 en %	
4 7	Ajustement à long terme du carburant voie 1 en %	
5 8	Ajustement à court terme du carburant voie 2 en %	
6 9	Ajustement à long terme du carburant voie 2 en %	
7 0A	Pression de carburant en kPa	
8 0B	Pression d'admission absolue en kPa	
9 0C	Régime moteur en tours/min	
10 0D	Vitesse du véhicule en km/h	
11 0E	Avance à l'allumage sur le cylindre 1 en degré	
12 0F	Température d'air d'admission en °C	
13 10	Débit d'air mesuré par le débitmètre en g/s	
14 11	Position absolue du papillon des gaz en %	
15 12	Etat du circuit secondaire d'admission	
16 13	Capteur d'O2 positions voie/capteur	
17 14	Tension du capteur d'O2 voie 1 capteur 1/1d->	
18 15	Tension du capteur d'O2 voie 1 capteur 2	
19 16	Tension du capteur d'O2 voie 1 capteur 3	
20 17	Tension du capteur d'O2 voie 1 capteur 4	
21 18	Tension du capteur d'O2 voie 2 capteur 1	
22 19	Tension du capteur d'O2 voie 2 capteur 2	
23 1A	Tension du capteur d'O2 voie 2 capteur 3	
24 1B	Tension du capteur d'O2 voie 2 capteur 4	
25 1C	Spécification OBD du calculateur	
26 1D	Capteur d'O2 positions voie/capteur	

Les valeurs courantes des différents capteurs du véhicule et afficher même si ceux sont en dehors de leur plage de fonctionnement normal, Pour cela l'analyse des données dépend d'utilisateur.

V.2.5 Capteurs d'oxygène :

Les capteurs d'oxygène sont utilisés par les véhicules essence pour la régulation de l'injection, suivant la configuration de véhicule plusieurs capteurs seront disponibles.

Home Connexion Diagnostic Capteurs **Capteurs d oxygène** Code défaut

Lire Mode 5

PID	Description	Unités	Valeur
1 1	Tension de seuil du capteur de riche à pauvre	Volt	
2 2	Tension de seuil du capteur de pauvre à riche	Volt	
3 3	Tension basse utilisée pour le calcul du temps de passage	Volt	
4 4	Tension haute utilisée pour le calcul du temps de passage	Volt	
5 5	Temps de passage de riche à pauvre calculé	secondes	
6 6	Temps de passage de pauvre à riche calculé	secondes	
7 7	Tension minimum du capteur pendant le cycle de test	Volt	
8 8	Tension maximum du capteur pendant le cycle de test	Volt	
9 9	Temps entre les transitions du capteur	secondes	
10 0A	Période du capteur	NaN	

V.2.6 Help :

Dans ce menu, nous présentons le Protocol de communication CAN/OBD en détail.

Annexe

TABLE DE MATIERE

Annexe 01

BUS CAN/OBD ET PROPOSITION DE CONTROLE ELETRONIQUE.

Annexe 02

L'UNITE DE CONTROLE ELECTRONIQUE, CABLAGE, PROTECTION DE CAPTEUR NOX, DE SOCIETE NGK.

Annexe 03

SPETROMETRE EDX ET LES ETAPES D'UTILISATION.

Annexe 04

CODE SOURCE DE L'APPLICATION.

Annexe 01

BUS CAN/OBD ET PROPOSITION DE CONTROLE ELETRONIQUE

INTRODUCTION

Le protocole CAN (*Control Area Network*) est un protocole de communication Série. Est développé à la fin des années 80 par l'entreprise allemande Robert Bosch. L'objectif était de fournir à l'industrie automobile un bus peu coûteux pour l'électronique embarquée.

L'Objectif de cette partie, est proposer des solutions électroniques, permet de convertir le signal de capteur vers des données compatible avec le protocole de communication utilisé OBD.

Pour cela, nous allons dans le chapitre 1 présenter la bibliographie de BUS CAN/OBD et ses caractéristiques physiques. Nous présenterons dans le chapitre 2, d'une part les modes de BUS CAN, et d'autre part les listes des données et des commandes qu'on peut effectuer dans le bus CAN.

Ce chapitre résultat de travail avec Monsieur Arafa Kaddouri et Mademoiselle Mesbah Meryem.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	
1. définition de BUS CAN.....	
2. Quelques règles de fonctionnement et définitions.....	
2.1 Caractéristiques physiques du Bus.....	
3. Principe de fonctionnement :	
3.1 Structure de trame.....	
3.1.1Trame de donnée.....	
3.1.2 Trame de requête.....	
4. Modes BUS CAN / OBD	
4.1 : Introduction.....	
4.2: les Modes.....	
4.3: les PIDs standard.....	
CONCLUSION.....	
Liste des PIDs	

1. Définition de Bus CAN :

Le protocole de communication CAN (Control Area Network) est un protocole de communication série qui supporte des systèmes temps réel avec un haut niveau de fiabilité.

Ses domaines d'application s'étendent des réseaux moyens débits aux réseaux de multiplexages faibles couts. Il est avant tout à classer dans la catégorie des réseaux de terrain, il a été normalisé avec la norme

✚ ISO 11898 pour les applications à hauts débits (**CAN « high-speed » jusqu'à 1Mbits/s**)

✚ ISO 11519 pour les applications à bas débits (**CAN « low-speed » jusqu'à 125kbits/s**).

2. Quelques règles de fonctionnement et définitions :

Quelques termes et de règles de fonctionnement concernant le protocole CAN.

- **Nœud**: sous-ensemble relié à un réseau de communication (capteur, sonde d'oxygène....).
- **Message** : chaque information est véhiculée sur le bus à l'aide d'un message (Trame de bits) de format défini mais de longueur variable (et limitée).
- **Routage des informations** : des nœuds peuvent être ajoutés au réseau sans qu'il n'y ait rien à modifier tant au niveau logiciel que matériel. Chaque message possède un identificateur (identifier) qui n'indique pas la destination du message mais la signification des données du message.
- **Trame de données, trame de requête** : une trame de données (data frame) est une trame qui transporte, comme son nom l'indique, des données. Une trame de requête est émise par un nœud désirant recevoir une trame de données.
- **Débit bit** : le débit bit peut varier entre différents systèmes, mais il doit être fixe et uniforme au sein d'un même système.
- **Priorités** : les identificateurs de chaque message permettent de définir quel message est prioritaire sur tel autre.

- **Demande d'une trame de données** : un nœud peut demander à un autre nœud d'envoyer une trame de données.
- **Accusé de réception** : tous les récepteurs vérifient la validité d'un message reçu, et dans le cas d'un message correct ils doivent accuser de réception en émettant un flag.

Titre 2-1 : Caractéristiques physiques du Bus :

Les états logiques (0 ou 1) sont codés par différence de potentiel entre les deux fils entre les deux lignes (CAN H et CAN L). Des composants sont intégrés dans les extrémités pour adapter l'impédance de la ligne.

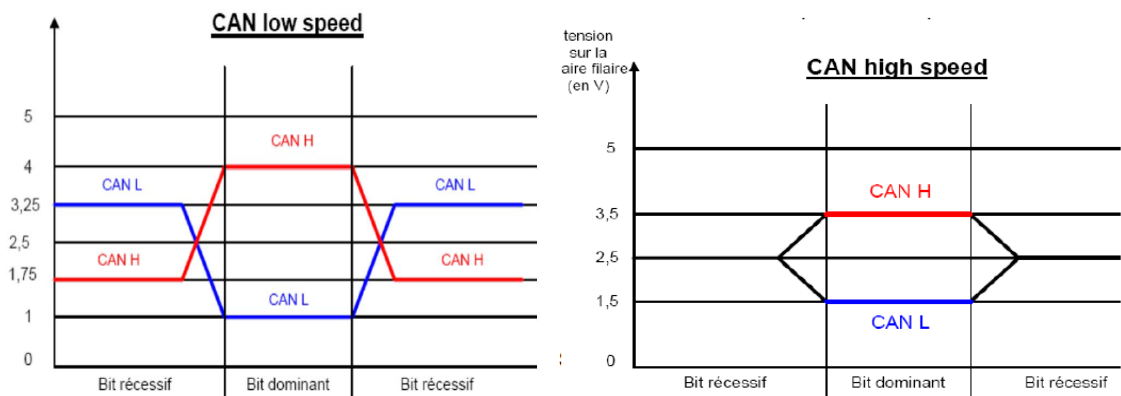
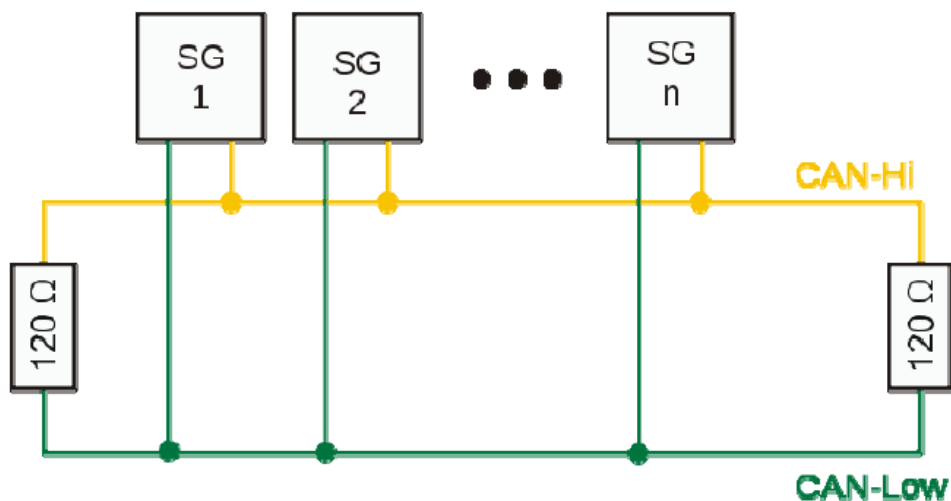


Figure 1: caractéristiques physiques de bus CAN.

Titre 2 : Principe de fonctionnement :

Bus CAN du type multi-maître. La longueur maximum du bus est déterminée par le débit:

Tableau 1: la vitesse de transmission et la longueur de câble valable.

Vitesse (kbit/s)	Longueur (m)
1000	30
800	50
500	100
250	250
125	500
62,5	1000
20	2500
10	5000

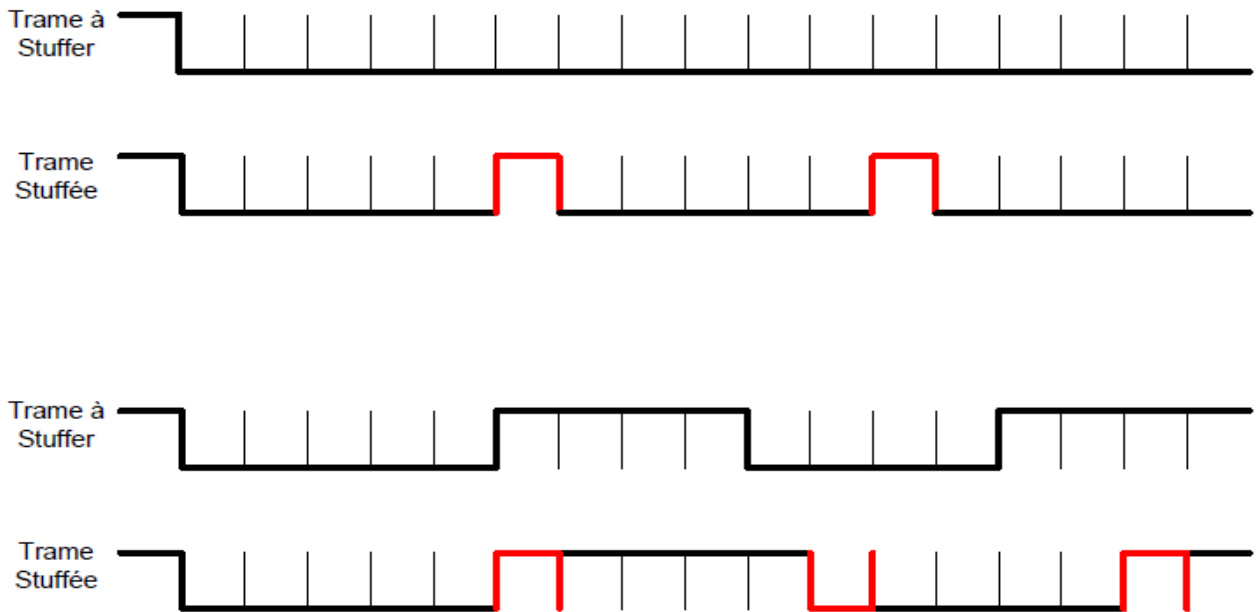
Il existe uniquement deux états logiques équivalents à

- Dominant : 0

- Récessif : 1

Le bus utilise un fonctionnement de type « Wired-and » qui fonctionne de la façon suivante : un bit dominant (0) écrase un bit Récessif (1)

-Le principe de synchronisation des émetteurs et des récepteurs consiste à effectuer un bourrage de bit inverse : méthode de bit stuffing : Après 5 bits de même niveau, un bit (sans signification) de niveau inverse est ajouté



Exemple de Technique de Bit-stuffing :

Titre 3.1 : Structure de trame :

Il existe quatre types de trames spécifiques et d'un intervalle de temps les séparant :

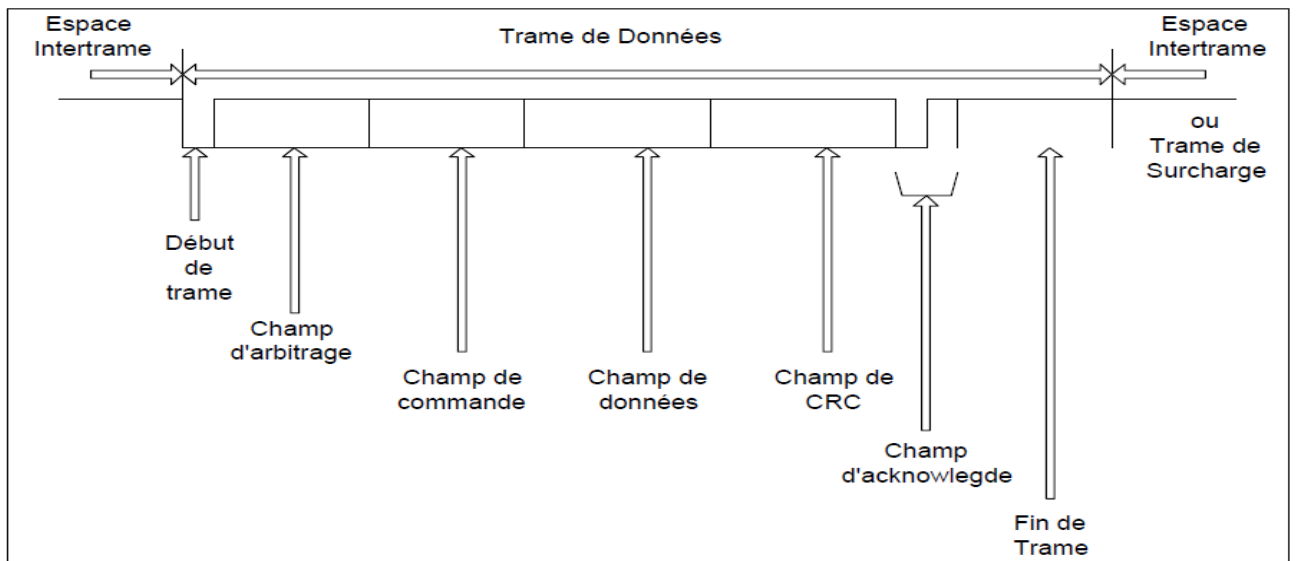
- ✚ Les trames de données
- ✚ Les trames de requête (demande d'information à un noeud)
- ✚ Trames d'erreurs (émises par n'importe quel noeud dès la détection d'une erreur)
- ✚ Des trames de surcharge (ces trames correspondent à une demande d'un laps de temps entre les trames de données et de requête précédentes et successives).

Il existe un espace inter trame de 3 bits récessifs entre les trames des données et de requête.

Titre 3.1.1 : Trame de donnée :

Une trame de données se décompose en 7 champs différents (figure 3) :

- le début de trame SOF (Start Of Frame), 1 bit dominant.
- le champ d'arbitrage, 12 bits (identificateur).
- le champ de contrôle, 6 bits (Commandes).
- le champ de données, 0 à 64 bits (informations).
- le champ de CRC (Cyclic Redundancy Code), 16 bits (contrôle).
- le champ d'acquiescement (Acknowledge), 2 bits.
- le champ de fin de trame EOF (End Of Frame), 7 bits récessifs.



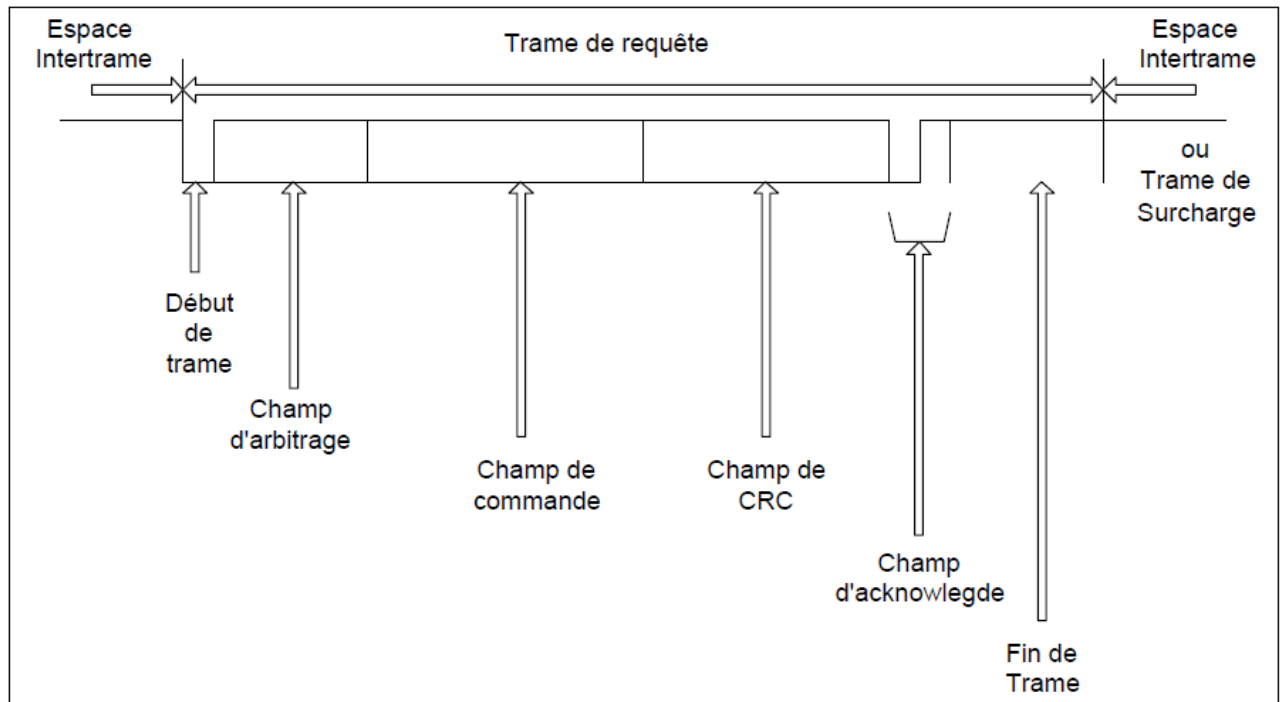
Titre 3.1.2 : Trame de requête :

Une trame de requête est constituée de la même manière qu'une trame de données sauf que le champ de données est vide.

Dans le champ d'arbitrage, le bit de RTR est récessif. Par conséquent si deux nœuds émettent chacun une trame possédant le même identificateur (c'est à dire qu'un nœud émet une trame de données et l'autre une trame de requête), l'arbitrage sur le bit de RTR va donner la priorité à la trame de données.

Si un nœud a besoin d'un certain nombre de données, il va émettre une trame de Requête dès que le bus sera libre en prenant soin d'indiquer dans le champ de contrôle le nombre d'octets de données dont il a besoin.

Les règles de construction des autres divers champs d'une trame de requête sont les mêmes que dans le cas d'une trame de données.



- **Modes BUS CAN / OBD:**

Introduction:

OBD-II PIDs sont des codes utilisés pour demander des données et des opérations à partir d'un véhicule, utilisé comme un outil de diagnostic. En utilisant un connecteur de liaison de données normalisé. Le protocole définit 10 modes de diagnostic. Plus la voiture est récente plus le nombre de mode supporté soit important.

4.1: les modes :

Mode 1 :

Chaque unité dans la véhicule caractérisé par un identifiant PID, le mode 1 permet de fournir des données courant de certains de ses capteurs, soit vitesse, régime de moteur, température du moteur, et les données des sondes à oxygène et régulateur du dosage air/carburant.

Mode 2 :

Le calculateur d'une véhicule permet d'enregistrer les données des capteurs au moment de détection d'un défaut. Le mode 2 permet de fournir ses données.

Mode 3 :

Le calculateur d'une véhicule permet d'enregistrer les codes défauts enregistrés. Le mode 3 permet de retourner ces codes, 4 catégories des défauts :

- P0xxx : pour les défauts standards liés au système de propulsion (moteur et transmission)
- C0xxx : pour les défauts standards liés au châssis.
- B0xxx : pour les défauts standards liés à la carrosserie.
- U0xxx : pour les défauts standards liés aux réseaux de communications.

Mode 4 :

Après la diagnostic et réparation des défauts détectés, on supprime les codes défauts enregistrés, le mode 4 fournit la possibilité de cette opération.

Mode 5 :

Le Mode 5 retourne Les résultats des tests, la surveillance du sondes à oxygène/lambda, il s'applique aux véhicules essences, ce mode n'est plus utilisé pour les calculateurs utilisant CAN (voir Mode 6).

Mode 6 :

Ce Mode retourne Les résultats des tests, d'un autre composant / surveillance du système (résultats des tests, la surveillance du capteur d'oxygène pour CAN seulement).

4.2Pid standard :

Le tableau (voir annexe) montre les PID OBD-II standards tels que définis par la SAE

J1979. La réponse attendue pour chaque PID est donnée, ainsi que des informations sur la façon de traduire la réponse en données significatives.

Remarque : les modes 1 et 2 sont essentiellement identiques, sauf que le mode 1 fournit des informations en cours, tandis que Mode2 donne un aperçu des mêmes données prises au moment où le dernier code de diagnostic a été établi. Les exceptions sont PID 01, qui est uniquement disponible en mode 1, et PID 02, qui est uniquement disponible en mode 2. Si le mode 2 PID 02 renvoie zéro, alors il n'y a pas d'instantané et de toutes les autres données Mode 2 n'a pas de sens.

Les solutions:

Solution 1 : Arduino & CAN Bus Shield

La première solution est à base de la carte Arduino & Shield Bus CAN ;

Les modules arduino sont des plateformes de prototypage microcontrôleurs "open-source" spécialement conçues pour les artistes, les concepteurs ou les hobistes. Cette version est architecturée autour d'un microcontrôleur Atmel™ ATmega328 associé à une interface USB.

On note bien la présence des bornes suivantes (PIN) :

- Entrée alimentation externe 12V DC.
- IOREF est une réserve, non connectée, prévue pour être utilisée dans les prochaines versions.
- Reset est une entrée pour un reset externe.
- Gnd, 3.3V et 5V sont des sorties d'alimentations régulées.
- Analog In (0..5) appelées aussi A0..5, sont des entrées analogiques 0-5V, la résolution du convertisseur ADC est 10bits, la référence de tension pour le convertisseur ADC est 5V par défaut.
- ICSP (In-Circuit Serial Programming) permet la programmation du microcontrôleur insitu, utile dans le cas d'une mise à jour du firmware du microcontrôleur.
- 14 entrées/sorties digitales, dont 6 PWM
- AREF entrée pour une référence de tension externe pour le convertisseur analogique numérique (ADC)
- SDA, SCL lignes de communication I2C

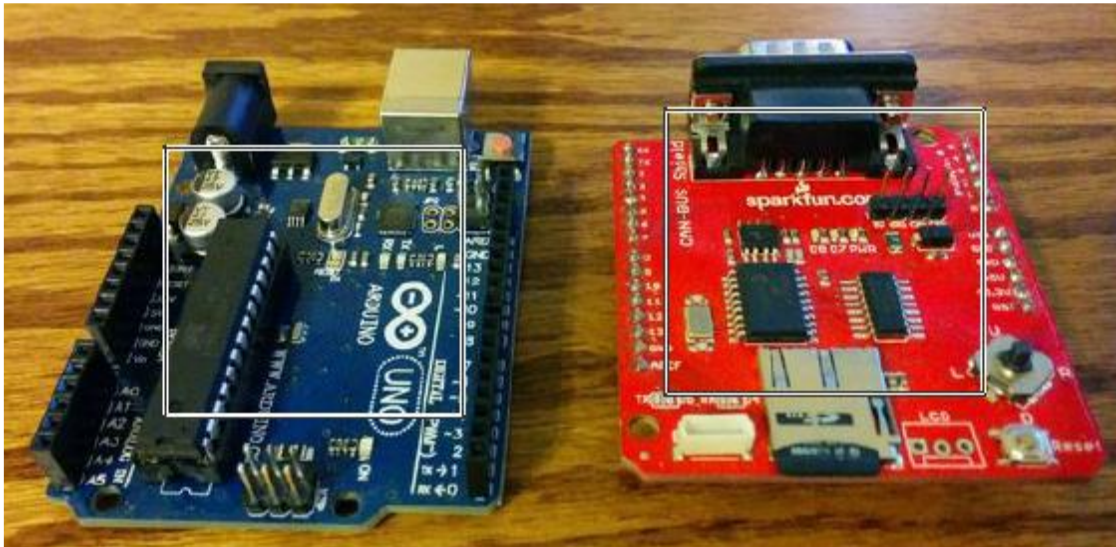


Figure: Carte Arduino UNO &Shield Bus CAN

Le CAN -BUS Shield avec des capacités CAN -BUS permet de pirater les véhicules. Permet de communiquer avec l'ECU pour obtenir des informations, y compris la température du liquide de refroidissement, la position du papillon, la vitesse du véhicule, et rpms de moteur. Il utilise le Microchip MCP2515 contrôleur CAN avec le MCP2551 CAN émetteur-récepteur.

Solution 2 : ELM327

Les voitures aujourd'hui, sont obligées d'avoir des interfaces de diagnostics auto. Les données transférées par ces interfaces sont normalisées.

L'ELM327 conçu pour agir comme un pont entre ces ports (OBD) On-Board Diagnostics et une interface série RS232 standard.

En plus d'être capable de détecter automatiquement et interpréter neuf protocoles OBD, l'ELM327 aussi fournit un soutien pour les communications à haute vitesse, un mode basse puissance de sommeil, et le camion J1939 et bus Standard. Il est également entièrement personnalisable, on peut l'adapter plus étroitement à nos besoins.



Il existe 4 types d'interfaces ELM327 :

- + L'**ELM327 RS232 (RS ou Série)** : Ce type de sortie tend à disparaître sur les PC modernes.
- + L'**ELM327 USB** : Un peu plus chère que la RS et nécessite l'installation d'un driver USB (FTDI ou SiliconLabs). Avantage: tous les PC sont équipés de port USB.
- + L'**ELM327 Bluetooth** : L'avantage est qu'elle est sans fils et qu'elle peut être utilisée aussi bien avec un ordinateur qu'un **smartphone Android**.
- + L'**ELM327 WiFi**: Sa liaison sans fils permet de l'utiliser avec un ordinateur et un smartphone. Seules les interfaces WiFi peuvent être utilisées avec les **iPhone/iPad**.

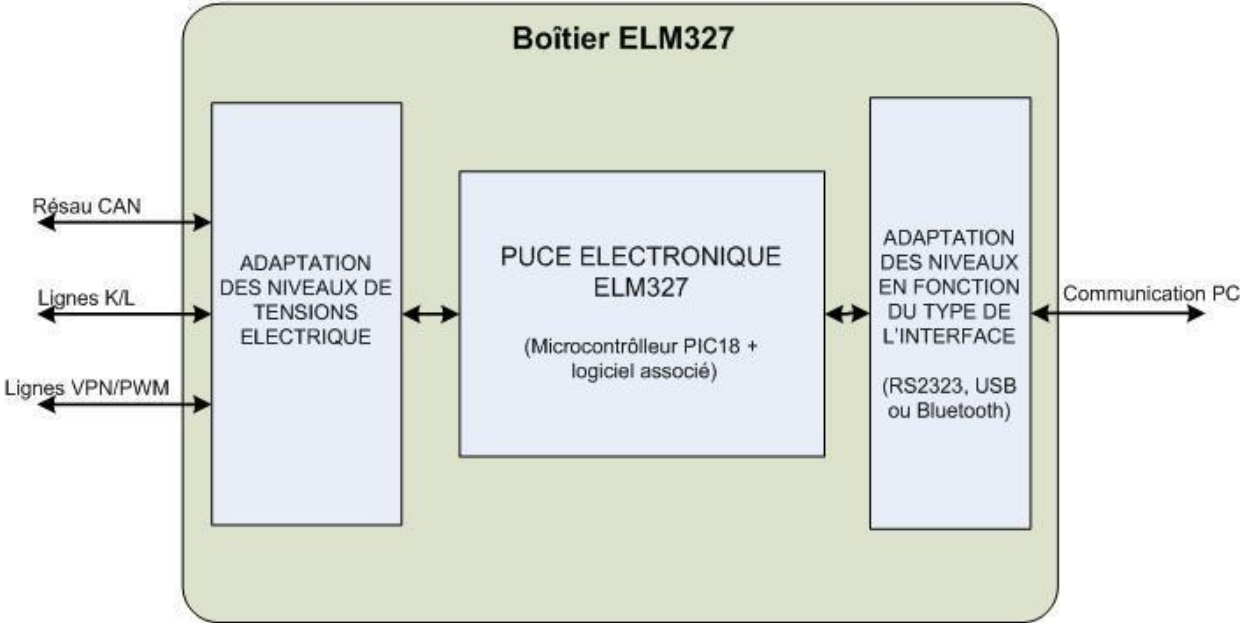
Principe de fonctionnement de l'interface ELM 327

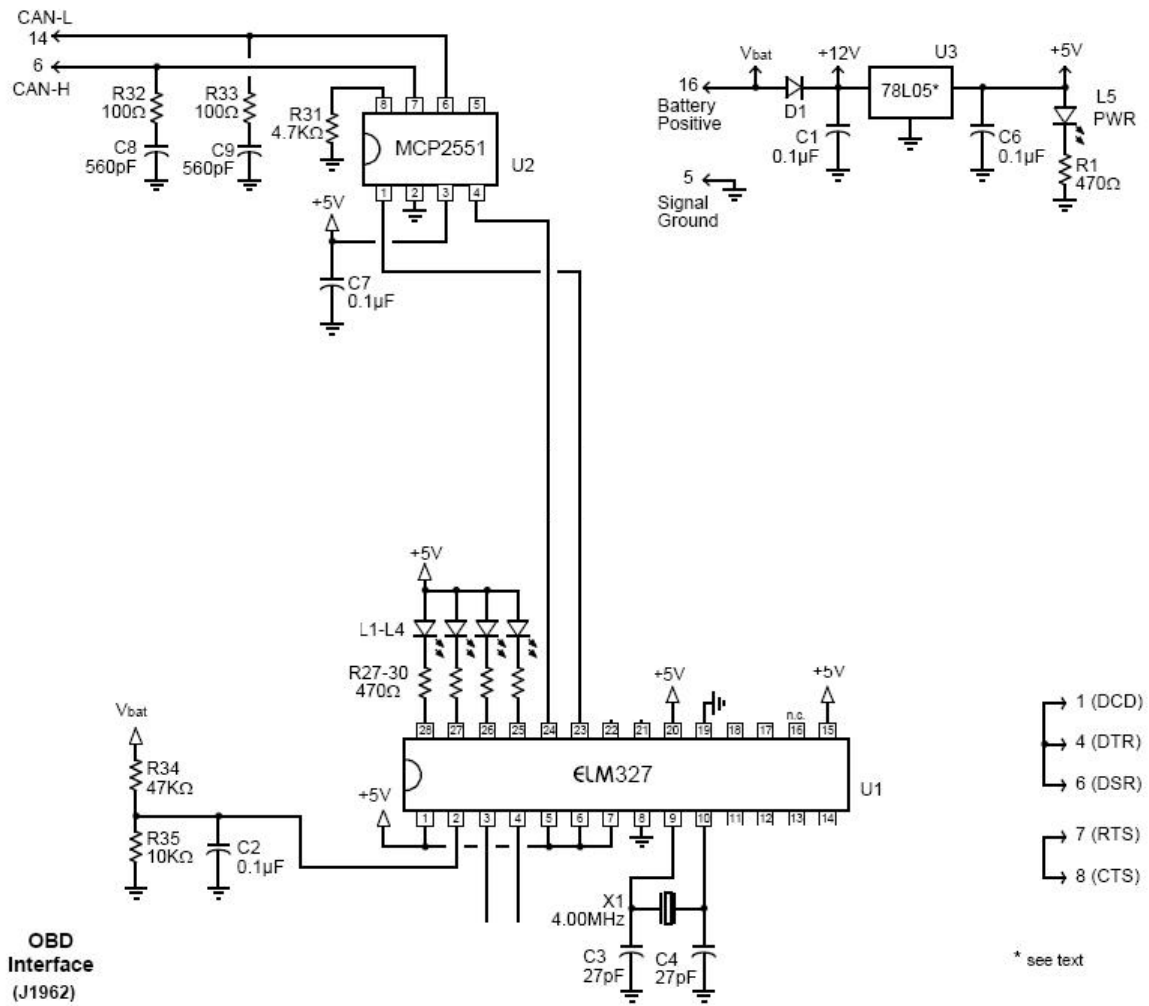
La Solution contient 3 Blocs principaux:

Bloc 1 : Adaptation de tensions électriques: Les réseaux embarqués dans les automobiles ont des niveaux de tensions qui requièrent des drivers spécifiques.

Bloc 2 : La puce ELM327: Le circuit intégré, est le cerveau de l'interface. Il est en charge de sélectionner le protocole et de convertir celui-ci en un protocole compréhensible par les PC modernes. Ce petit circuit (cadencé 4MHz) a pour unique rôle de faire la passerelle entre les protocoles.

Bloc 3 : Adaptation de tensions pour le PC: La puce électronique n'étant elle-même pas capable de communiquer avec un ordinateur, il est nécessaire une fois de plus d'adapter les niveaux électriques avant d'envoyer le flux d'informations L'image ci-dessous présente de manière schématique les principales fonctions d'une interface.





Liste des PIDs standard.

MODE 1 :

PID (hex)	Data bytes returned	Description	Valeur Min	Valeur Max	Unité	formule
00	4	Liste des PIDs supportés (plage de 01 à 32)				Bit encoded [A7..D0] = [PID \$01..PID \$20]
01	4	Status depuis le dernier effacement des codes défauts				Bit encoded.
02	2	Code défaut qui a provoqué l'enregistrement de données "gelées"				
03	2	Etat du circuit de carburant				Bit encoded.
04	1	Charge moteur calculée en %	0	100	%	A*100/255
05	1	Température du liquide de refroidissement moteur en °C	-40	215	°C	A-40
06	1	Ajustement à court terme du carburant voie 1 en %	-100 Subtracting Fuel (Rich Condition)	99.22 Adding Fuel (Lean Condition)	%	(A-128) * 100/128
07	1	Ajustement à long terme du carburant voie 1 en %	-100 Subtracting Fuel (Rich Condition)	99.22 Adding Fuel (Lean Condition)	%	(A-128) * 100/128
08	1	Ajustement à court terme du carburant voie 2 en %	-100 Subtracting Fuel (Rich Condition)	99.22 Adding Fuel (Lean Condition)	%	(A-128) * 100/128

Mode 2 :

Mode 02 accepte les mêmes PIDs que le mode 01, avec le même sens, Il faut envoyer le numéro de trame dans la section de données du message.

PID (hex)	Data bytes returned	Description	Valeur Min	Valeur Max	Units	Formula ^[a]
02	2	DTC that caused freeze frame to be stored.				BCD encoded. Decoded as in mode 3

Annexe 02

L'UNITE DE CONTROLE ELECTRONIQUE, CABLAGE, PROTECTION DE CAPTEUR NOX, DE SOCIETE NGK.

Unité de contrôle électronique :

Les capteurs NO_x intégrés dans les véhicules Peugeot, Commercialisés par la société NGK INSULATORS LTD en coopération avec Siemens VDO qui s'est chargée de l'unité de contrôle électronique.

L'unité électronique permet de convertir le signal analogique du capteur en signal numérique puis traduit par un protocole de communication OBD, voir chapitre 1 annexe.

Constituée de plusieurs blocs,

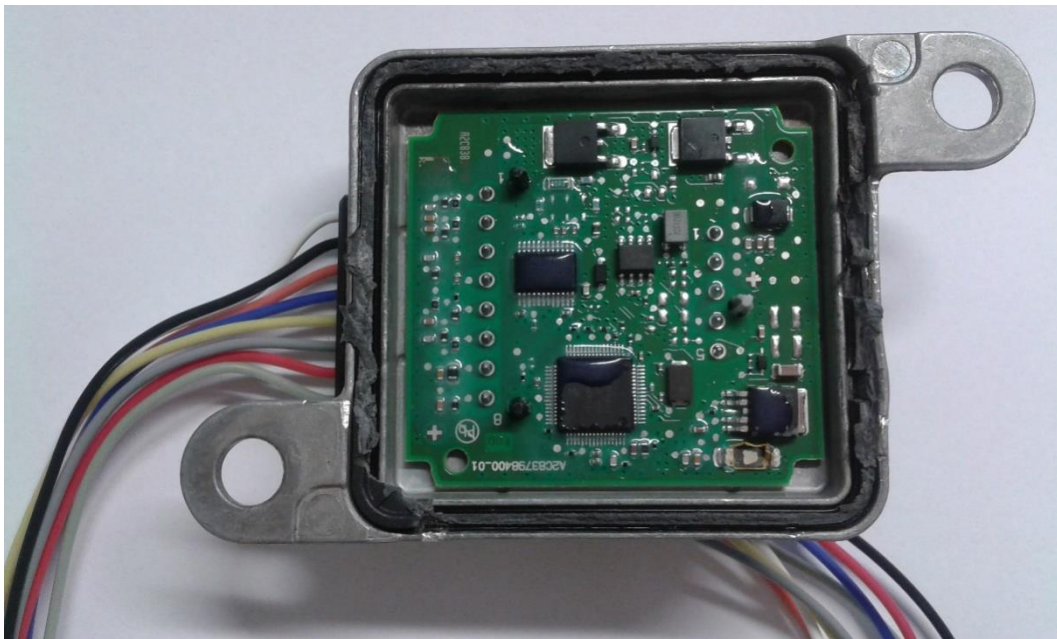


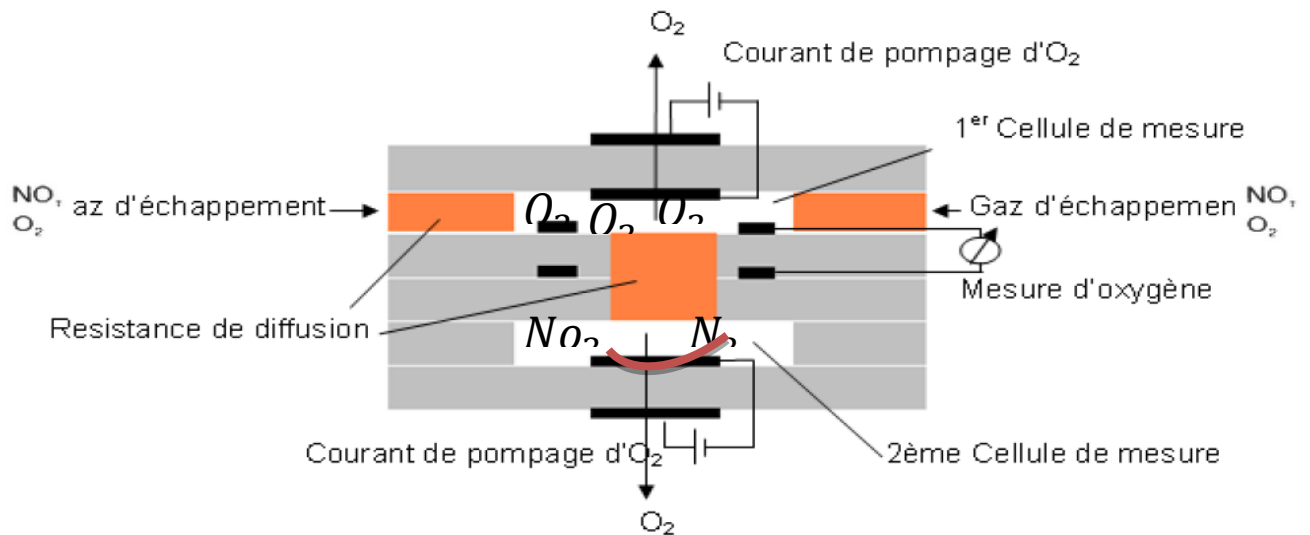
Figure : L'unité de contrôle électronique.

A. Câblage d'Unité de contrôle avec sonde lambda NO_x

Les sondes lambda NO_x NTK disposent de huit liaisons par câbles :

- l'élément chauffant est alimenté en courant par les câbles jaune (-) et bleu (+).
- le signal du courant de pompage passe par le câble blanc (Ip I (+)) et le câble vert (Ip II (+)),
- le signal de la cellule de mesure NO_x (Vs+) passe par le câble gris.
- le câble noir représente la liaison à la masse pour les cellules de pompage (Ip-) et de mesure (Vs-).
- Le signal de mesure d'oxygène par la cellule rouge ;

La masse de résistance de chauffage, pompage, cellule de mesure de NO_x, et mesure d'oxygène sont séparées pour éviter la perturbation d'un élément sur les autres.



PROTECTION, DE CAPTEUR NOX, DE SOCIETE NGK.

Tube de protection

Le tube de protection métallique permet le passage des gaz d'échappement, et protège le capteur des suies et des projections d'eau présentes dans la tubulure d'échappement suite à la condensation de la vapeur résultant de la combustion. En effet, le choc thermique généré par le contact de l'eau avec la céramique peut endommager l'élément.

Élément chauffant

L'élément chauffant permet au capteur d'atteindre rapidement sa température de fonctionnement. Ceci assure un contrôle précis du système d'injection dès les premiers mètres de conduite et un fonctionnement écologique dès le démarrage. Les sondes modernes fournissent un signal en seulement quelques secondes.

Support céramique

L'entretoise céramique maintient l'élément zirconium et le protège des vibrations.

Joint

Le joint à lèvres métallique garantit une étanchéité du gaz entre la sonde lambda et le système d'échappement.

Corps métallique

Le corps métallique ou culot hexagonal permet de visser la sonde dans le système d'échappement tel un écrou. Il est impératif de serrer la sonde au couple requis avec un outil adapté.

Joint caoutchouc ou Joint étanchéité faisceau

Le joint d'étanchéité du faisceau en caoutchouc vient sceller le faisceau dans le corps métallique du capteur afin d'empêcher la pénétration d'eau à l'intérieur de la sonde.

Connexion de l'élément chauffant

Câble de transmission du signal au calculateur.

Les 2 câbles blancs servent à l'alimentation et de masse pour l'élément chauffant inséré dans l'élément céramique.

Signal du capteur vers le calculateur

Câble de transmission du signal au calculateur.



Figure : Structure d'une sonde lambda au dioxyde de zirconium, société NGK.

Effet d'une sonde lambda défectueuse :

La durée de vie d'une sonde lambda normalement environ 150 000 km, mais la présence des problèmes mécanique peuvent affecter sa durée de vie, tels que l'excès d'essence ou la présence excessive d'huile lors de la combustion. De même il influence la réponse de capteur donc le signal délivrer par la sonde un signal trop faible ou trop lent au calculateur qui ne peut plus déterminer la composition du mélange, d'où un rapport air/carburant loin de la stœchiométrie et Le catalyseur ne fonctionnant pas correctement ce qui provoque une augmentation des substances toxiques émises dans l'atmosphère.

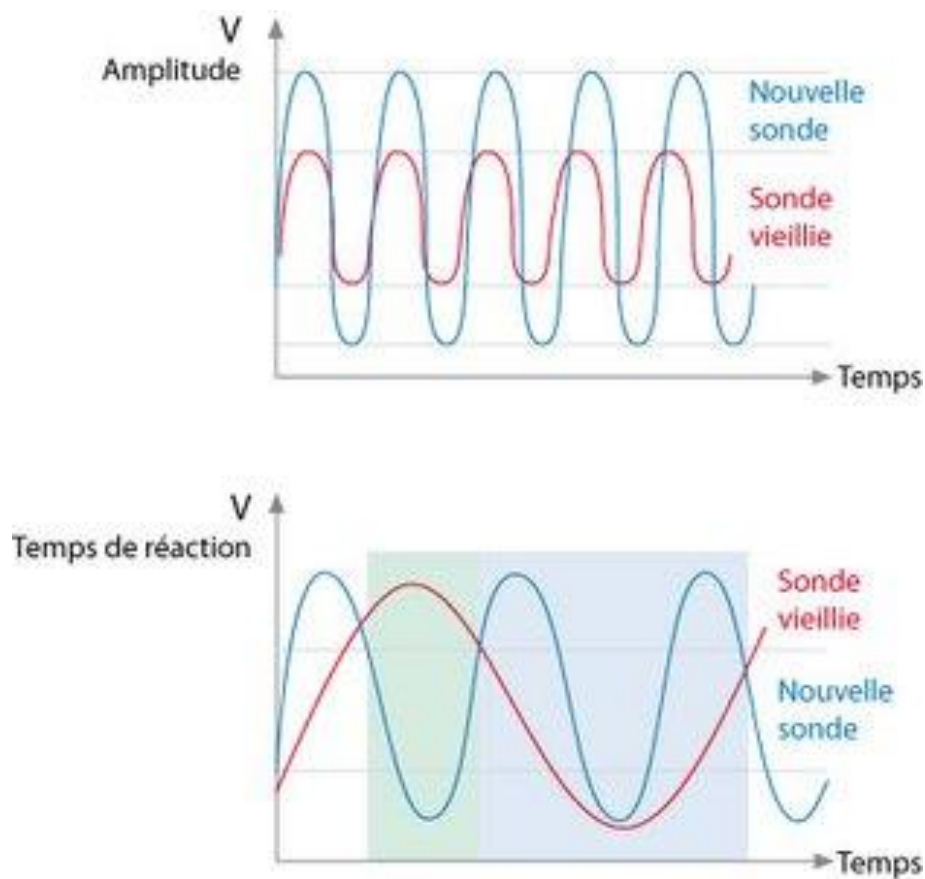


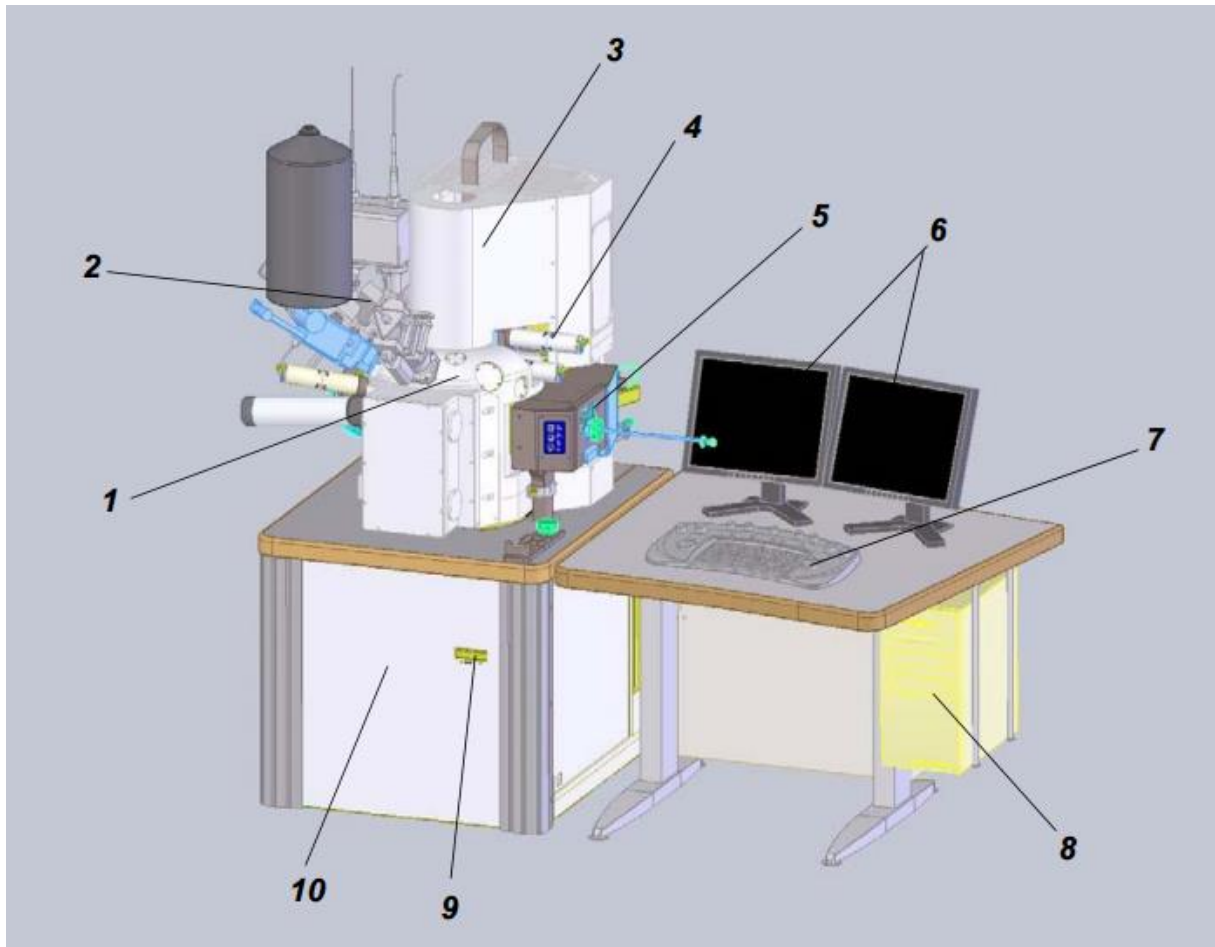
Figure : Les sondes lambda usagées ont un temps de réaction moins rapide et des amplitudes de tension faibles.

Annexe 03

SPETROMETRE EDX ET LES ETAPES D'UTILISATION.

Spectromètre EDX :

Vue :



1. chambre de traitement
2. colonne FIB
3. Electron colonne optique, une colonne GEMINI.
4. Détecteur
5. Air lock
6. Moniteurs
7. Panneau de contrôle
8. ordinateur personnel
9. ON / OFF / STANDBY
10. Supporte

Colonne FIB :

Deux types de colonnes sont disponibles FIB

* Colonne de canyon

* Colonne de cobra

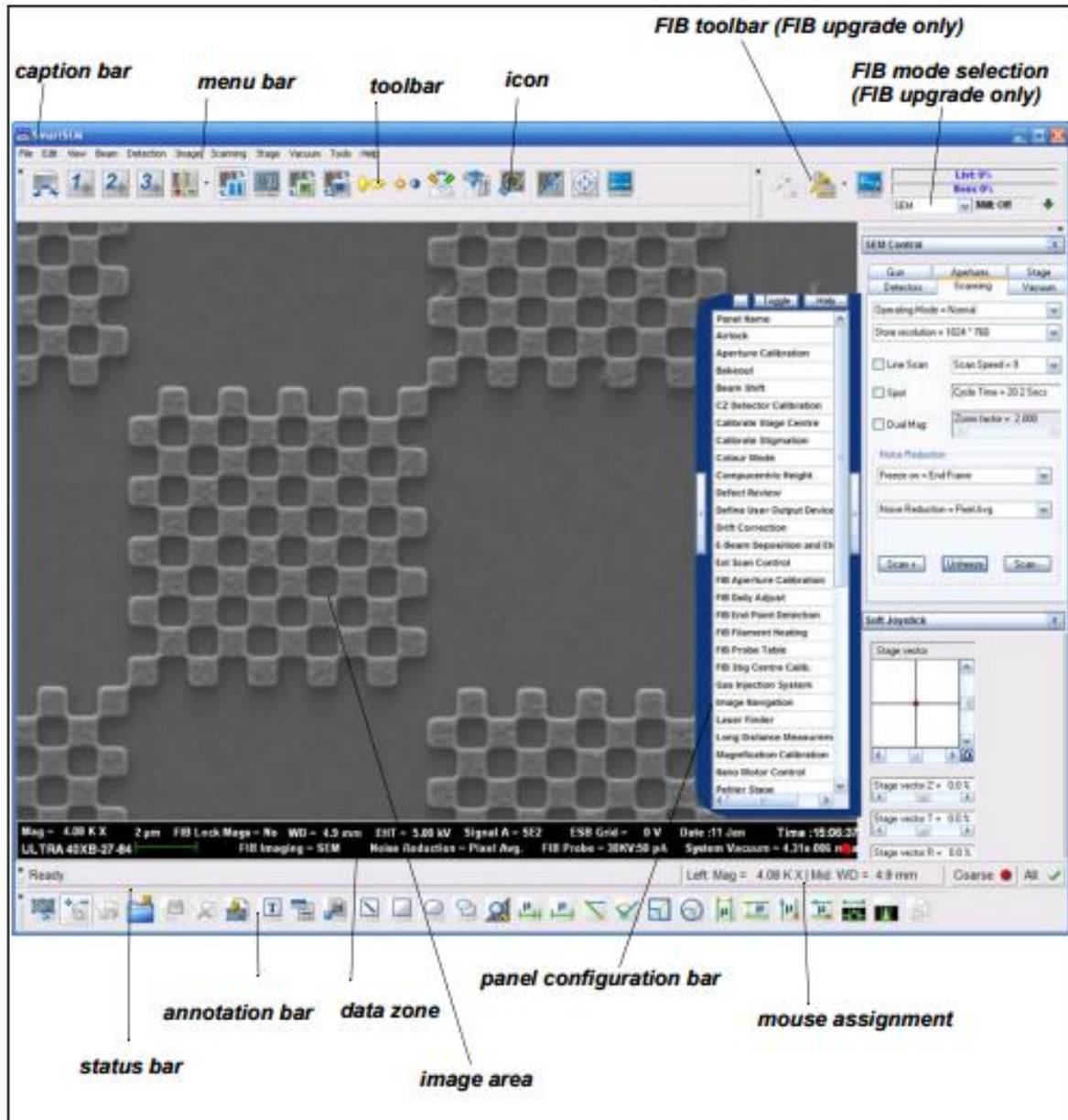
Système d'injection de gaz (GIS)

Un système d'injection de gaz permet l'injection d'un ou plusieurs gaz de traitement sur la surface de l'échantillon, il existe des systèmes qui possèdent jusqu'à cinq canaux, donc injection jusqu'à cinq gaz différents.

3 éléments de contrôle :

3.1 Interface de contrôle SmartSEM

Le système est contrôlé par le logiciel SmartSEM. Le logiciel est géré par une interface utilisateur graphique.



3.2 Double joystick

Le double joystick est utilisé pour la navigation sur lieu et de l'échantillon

Le grand joystick sur la droite est utilisée pour piloter l'axe X et Y. la rotation de la phase est commandée en faisant tourner le bouton supérieur vers la gauche ou vers la droite



Le petit joystick sur la gauche est utilisé pour contrôler l'axe Z et l'inclinaison du lieu.

Break : bouton poussoir, est un arrêt d'urgence pour le système.

Panneau de commande :

Le panneau de commande est disponible en option, Il intègre un plein écran et permet un accès direct à 14 des fonctions les plus fréquemment utilisées l'une sur le poste de travail

Exemple des fonctions disponibles :

Encodeurs

- Amplification.
- Stigmatteur X.
- Stigmatteur Y.
- Ouverture X.
- Ouverture Y.
- Numériser Rotation. .
- Décalage X.
- Décalage Y.
- Luminosité.
- Contraste. .
- Concentrer.

Boutons poussoirs

- Réduit
- Osciller
- Echange
- Résumer
- Caméra
- Vitesse de numérisation +
- Vitesse de numérisation -



Les étapes d'opération :

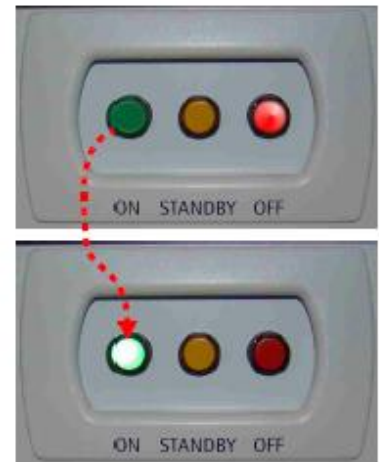
Préparation de poste de contrôle :

Pour le traitement des échantillons nous suivons le chemin suivant, qui nécessitent plusieurs étapes :

1. la mise sous tension du poste de travail

Premier étape allumer la poste de travail,

- Poste de travail est en mode Standard
- Pour allumer le système, on appuyé sur le bouton vert qui se trouve sur plaque.



2. démarrer l'interface de contrôle : SmartSEM

Double clic sur icone de logiciel SmartSEM pour ouvrir le logiciel, après une fenêtre d'authentification demande le nom d'utilisateur et le mot de passe.



Pour la premier utilisation il y a un ensemble des configurations à effectuer pour une meilleure utilisation, dans notre cas sont configuré par défaut, exemple des configurations : afficher ou masquer les barres d'outils, afficher ou masquer la zone de données, afficher une image en plein écran, configuration panneaux d'accueil, et le panneau de configuration du panneau.

Préparation d'échantillon:

Afin de maintenir l'échantillon dans un état favorable aussi proche, il est nécessaire d'effectuer un ensemble des étapes, de même dans la section qui suit résume aussi les séquences de base pour obtenir rapidement une image en utilisant le détecteur SE2.

La séquence complète comprend :

- Préparer le support d'échantillon
- Chargement de la chambre d'échantillon par **CHAMBER DOOR**.
- Localiser l'échantillon
- La mise en marche du pistolet
- Commutation sur l'EHT

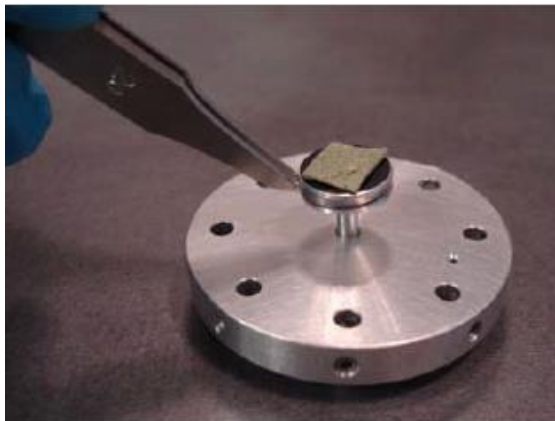
Préparer le support d'échantillon :

1. Attacher l'échantillon à la tige en utilisant du carbone conducteur, un métal ou un ruban de carbone

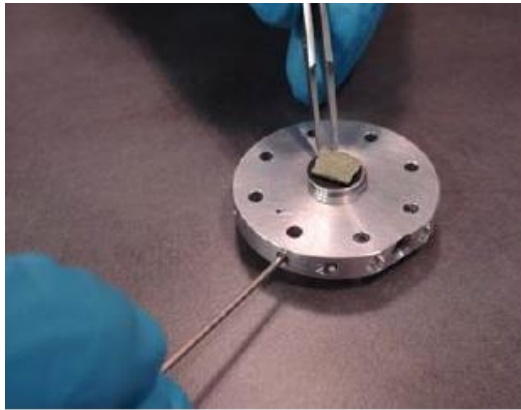


2. Il faut éviter contact direct de main avec échantillon, pour n'influence pas l'échantillon pas des additifs.

Après en utiliser les pinces pour insérer le support dans le porte-échantillon

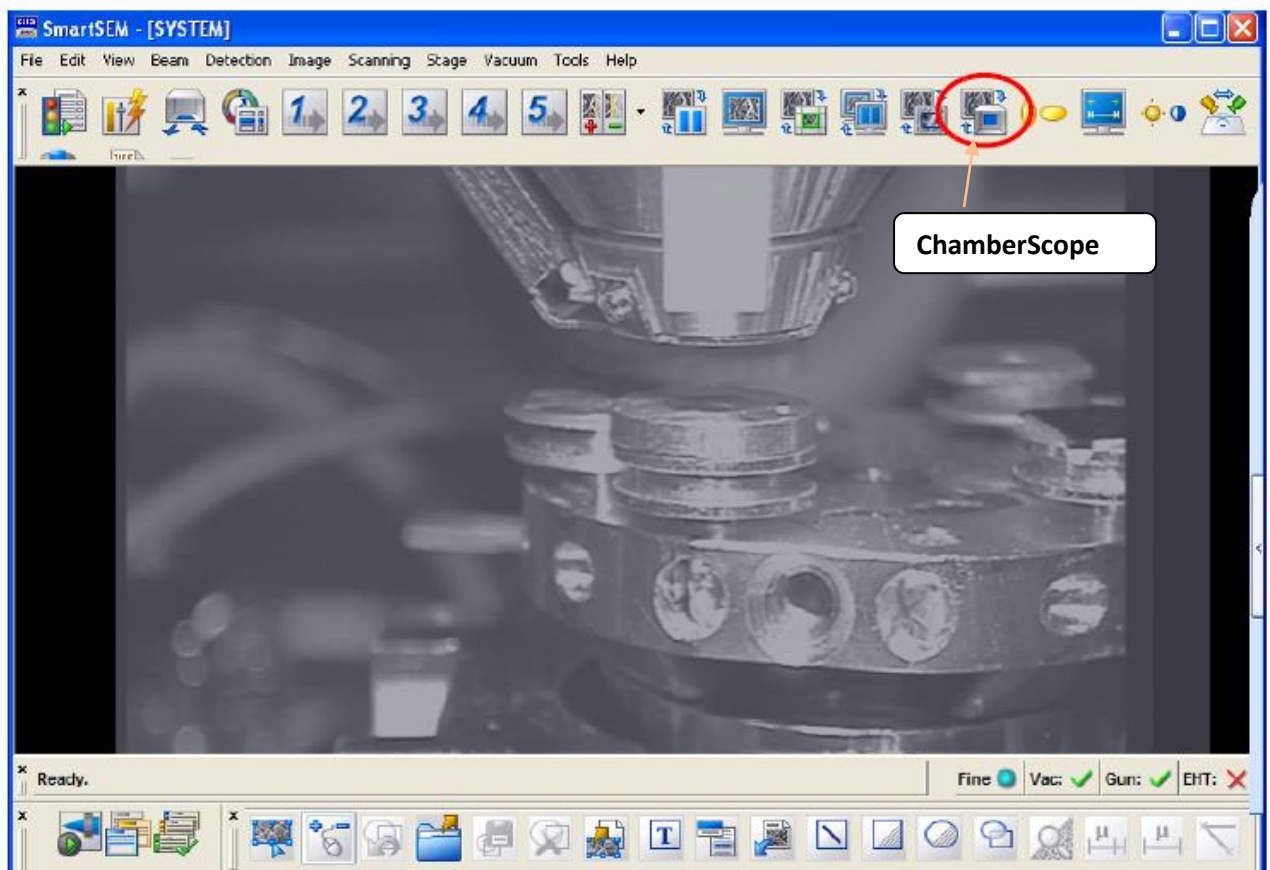


3. fixer correctement le talon au porte-échantillon. On utilise la clé hexagonale pour le fixer.



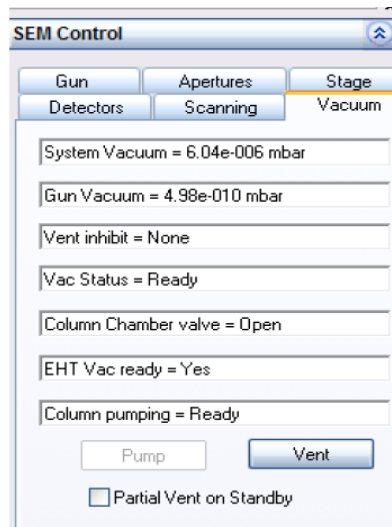
Chargement de la chambre d'échantillon par CHAMBER DOOR.

Une Clique sur l'icône **ChamberScope** dans la barre d'outils, on obtient une vue à l'intérieur de chambre de traitement.



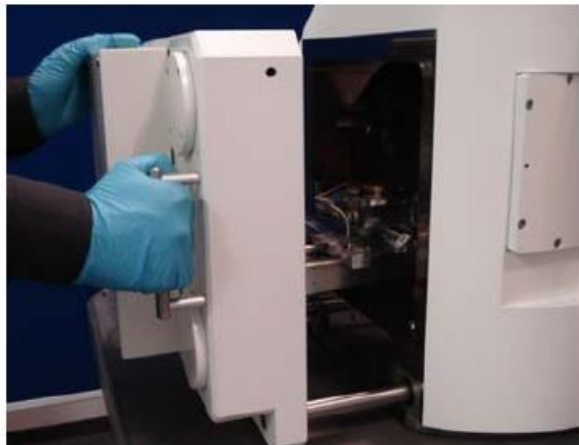
Avant de mettre l'échantillon à l'intérieur de chambre, il faut aérer la chambre d'échantillon pour cela une configuration à effectuer :

Pour Ouvrir panel de configuration SEM Control, Sélectionné Tools/Goto Control Panel à partir de menu,



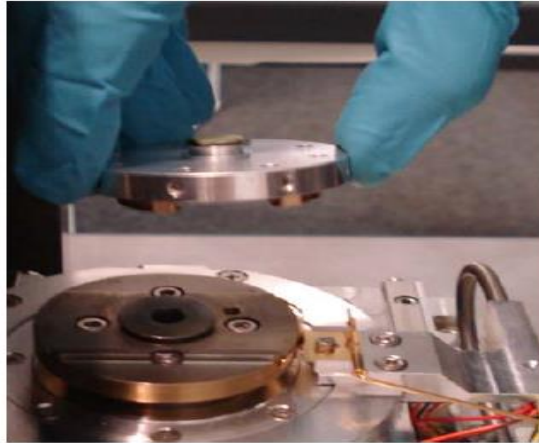
Après on choisir **Vacuum**, et on clique sur **vent** pour aérer la chambre de traitement.

Un message appareil pour confirmer opération, dans ce cas on peut ouvrir la porte de chambre



Tous les supports d'échantillons sont équipés d'une queue de sorte que la position du porte échantillon est définie exactement

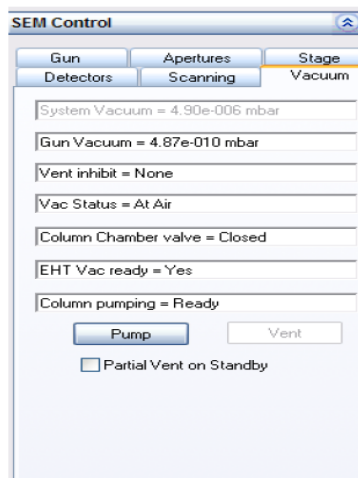
Monter le porte-échantillon :



Après on ferme la chambre :

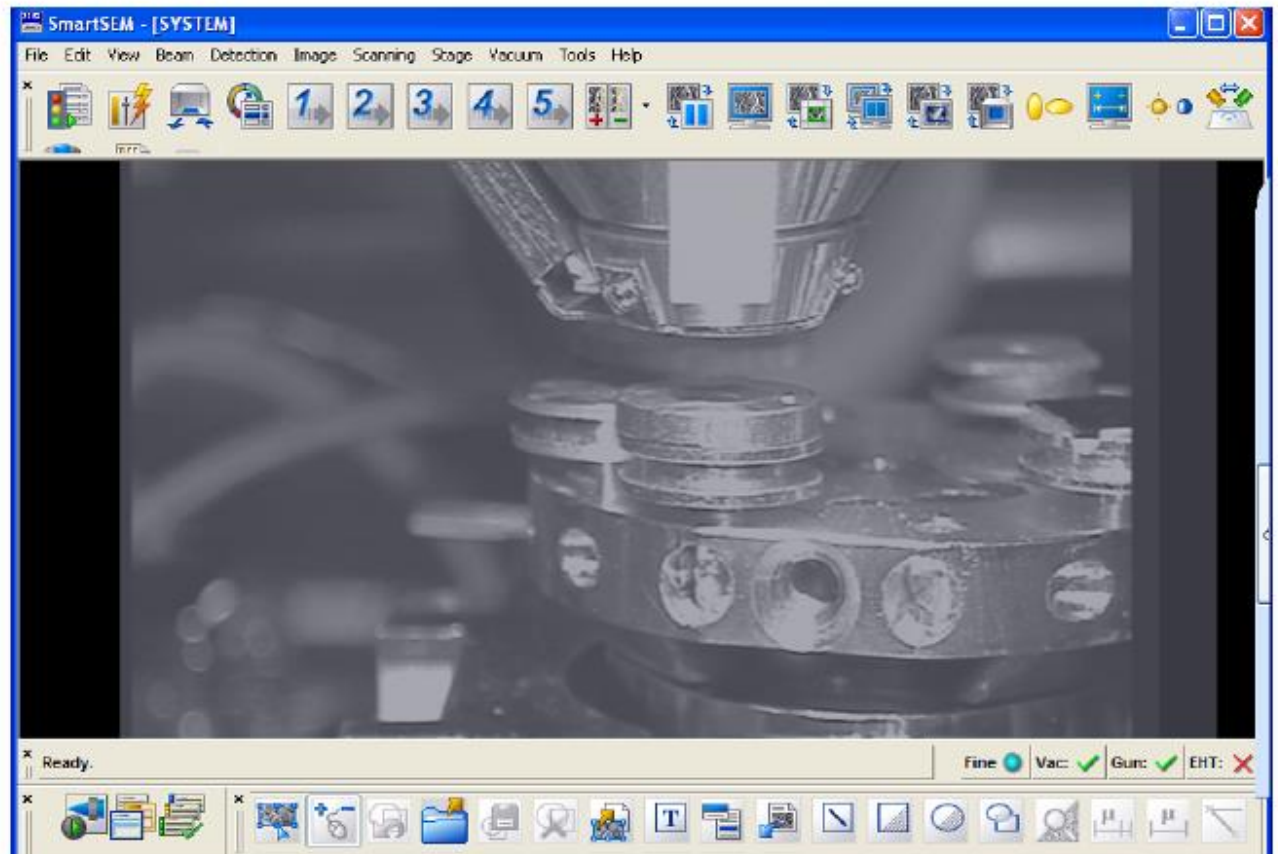


Clique sur le bouton de la pompe dans le panneau de commande SEM
l'état de vide : messages montrent les niveaux de vide actuels obtenus.



L'emplacement de l'échantillon:

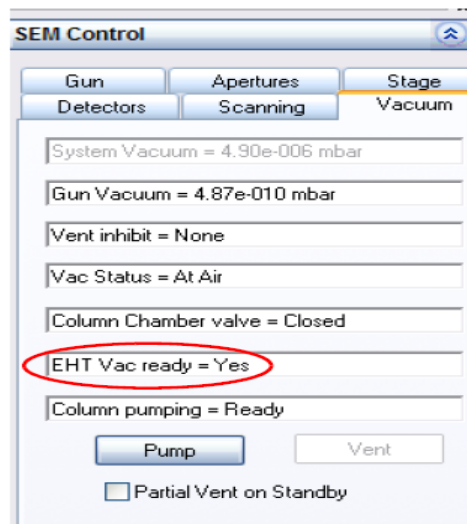
en mode TV (ChamberScope), vue dans la chambre d'échantillon :



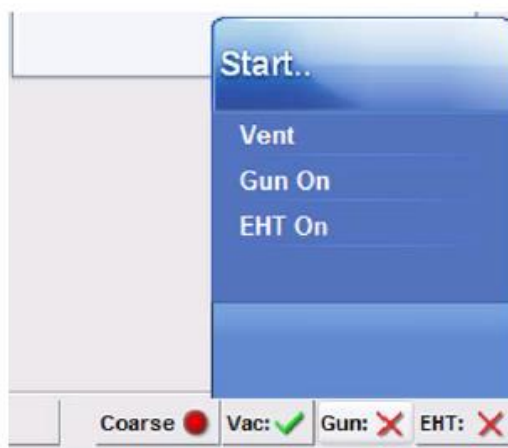
Déplacer l'échantillon en utilisant le double joystick (en option). Il faut déplacer soigneusement l'échantillon plus proche de l'objectif, la distance entre la lentille d'objectif et la surface de l'échantillon doit être inférieure à environ 10 mm.

La mise sous tension du canon à électrons :

Dans l'onglet **Vaccum**: vérifier que **EHT Vcready = OUI** indiqué.



Dans la statue bar on clique sur le bouton **Gun**, puis on choisit **Gun on**.

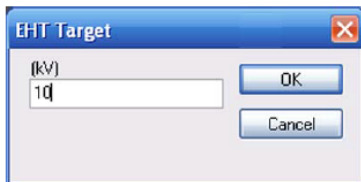
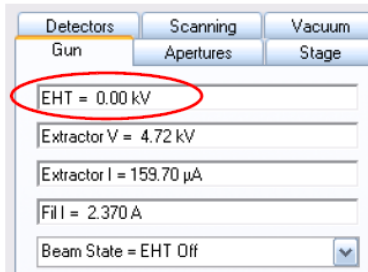


Mise en marche du EHT

EHT signifie tension d'accélération. La tension doit être appliquée au pistolet afin de faire émettre des électrons

1. Regarder les messages d'état de vide sur l'onglet **Vacuum** du panneau de commande SEM, lorsque le vide requis a été atteint, vous verrez le message **'VacStatus = Ready'**
2. choisir champ Gun
3. régler la tension d'accélération:

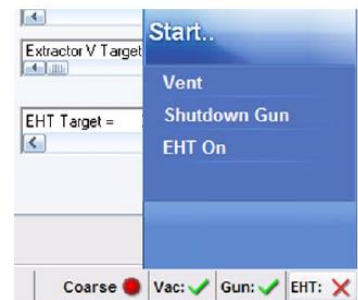
double-clic dans le champ EHT = entrer la tension d'accélération souhaitée dans le DSE cible champ e, g 10Kv validez en cliquant sur OK



4. allumer le EHT

- cliquez sur le bouton EHT dans la barre d'état
- dans le menu pop-up, sélectionnez EHT on

L'EHT est en cours d'exécution à 10 KV.



Générer une image

1. Aller à l'onglet **Detectors**
2. sélectionnez SE2 dans la liste déroulante **Detectors**.
il est recommandé qu'on a sélectionnez le détecteur SE2 pour obt bon rapport signal au bruit à des distances de travail large.

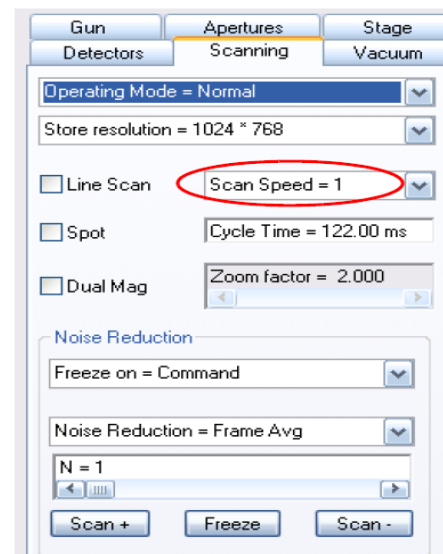


3. Allez à l'onglet **Scanning**

Sélectionnez une vitesse rapide de scan, **scan speed = 1** dans la liste

Plus le nombre de vitesse important, plus l'analyse de l'échantillon par le faisceau d'électrons plus vite.

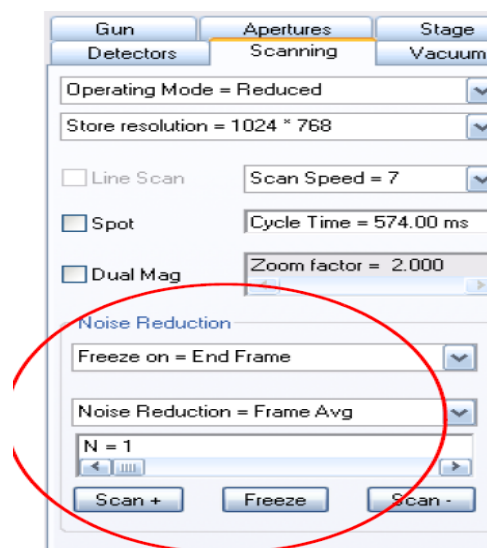
Scan Speed = 1 permet d'obtenir rapidement une image



Enregistrement de l'image

1. Arrêter scan:

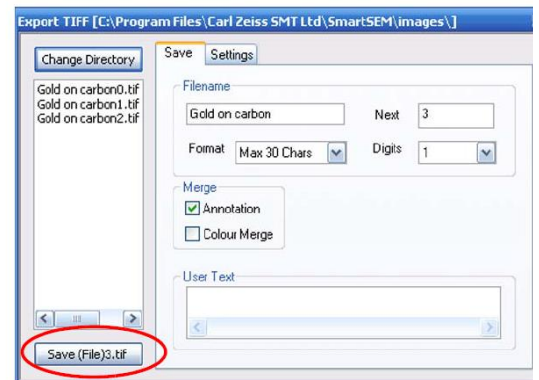
- Aller à l'onglet de **Scanning**.
- dans la section **Noise Reduction**, sélectionnez **Freeze on = end** du menu déroulant
- Cliquez sur bouton **Freeze**.



2. Dans le menu Sélectionné File/Save Image :

puis il faut entrer le path et le nom de fichier

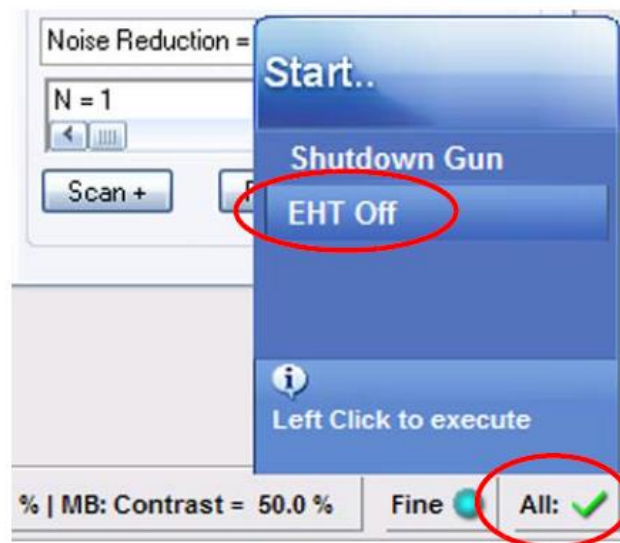
pour confirmer l'opération, cliquez sur le bouton **Save....tif**



La finition de la session de travail

pour terminer la session de travail, éteignez le EHT

- Cliquez sur le bouton All: dans la barre d'état.
- Sélectionnez EHT Off dans le menu pop-up

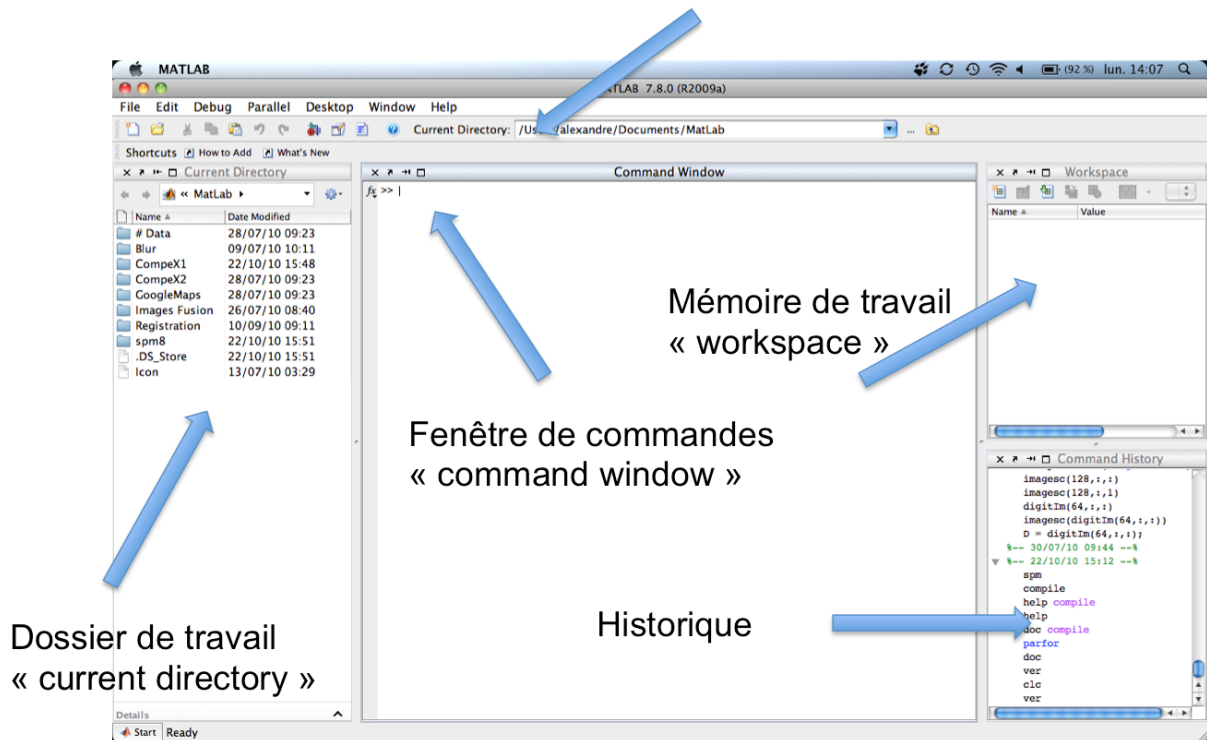


Annexe 04

CODE SOURCE DE L'APPLICATION

Introduction :

MATLAB est un environnement puissant, complet et facile à utiliser destiné au calcul scientifique. Ouvert et extensible pour le calcul et la visualisation. Grâce aux fonctions graphiques de MATLAB, il devient très facile de modifier interactivement les différents paramètres des graphiques pour les adapter selon nos souhaits.



- Le menu du haut est similaire à la plupart des programmes
- Le dossier de travail, est le dossier où sont contenus les fichiers, images, données, etc.
- La fenêtre de commande est l'espace où l'on tape les lignes de commande qui exécutent des actions
- La fenêtre de mémoire de travail affiche le nom des constantes contenant les valeurs générées par le programme, leur taille et leur type de contenu
- La fenêtre d'historique répertorie toutes vos dernières actions

Le code source nécessaire pour fonctionner application :

Le code source présenté dans l'annexe sans fonction Flire(), qui permet de lire et traiter les données de port USB.

```

function simple_gui2
clear all
clc
fig1 = figure ; %% crée un figure
%% les propriétés
    %valeur_propri = get( fig1, 'nom_propriété') ; %% set nom
set(fig1, 'Name' , 'GREN TECK' , 'NumberTitle','off');
set( fig1 , 'position' , get (0 , 'ScreenSize' )); % dimension de fenetre
get (0 , 'ScreenSize' ) : dimension de l'écran
set(fig1,'menubar','None');% supprimer les menus bar ,
set(fig1,'WindowButtonUpFcn',@figure1_WindowButtonUpFcn);
set(fig1,'WindowButtonDownFcn',@figure1_WindowButtonDownFcn);
set(fig1,'WindowButtonMotionFcn',@figure1_WindowButtonMotionFcn);

set(fig1,'color',[0.1 0.1 0.1]);

% création des variable .....
% run variable

global flag PaintFlag Eflag;
global CFlag RFlag;
global h rect;
global x0 y0 x y ;
global serialPort;

h = [];

flag = 0;
PaintFlag = 0;
Eflag = 0;

CFlag = 0;
RFlag = 0;

% création du menu

% MENU 'Accelerator','Q'
% menu principal  File Edit Image Process Analuze Plugins Windows Help

File1 = uimenu( fig1 , 'label' , 'File' );
Edit1 = uimenu( fig1 , 'label' , 'Edit' );
connecteur1 = uimenu( fig1 , 'label' , 'Connecteur','callback'
,@LocalisationPrise )
Process1 = uimenu( fig1 , 'label' , 'Process' );
Analuzel = uimenu( fig1 , 'label' , 'Analuze' );
Plugins1 = uimenu( fig1 , 'label' , 'Plugins' );
Windows1 = uimenu( fig1 , 'label' , 'Windows' );
Help1 = uimenu( fig1 , 'label' , 'Help' );

% menu secondaire :
% File1 NEW : Image.. Hyperstack.. Text Window Internal Clipboard

```

```

System Clipboard
NEW = uimenu(File1, 'Label', 'New');
uimenu(NEW, 'Label', 'Image..', ...
      'Callback', '1');

uimenu(NEW, 'Label', 'Hyperstack...', ...
      'Callback', '2');
uimenu(NEW, 'Label', 'Text Window', ...
      'Callback', '2');
uimenu(NEW, 'Label', 'Internal Clipboard', ...
      'Callback', '2');

uimenu(NEW, 'Label', 'System Clipboard', ...
      'Callback', '2');

% Open      Open Next   Open Samples  Open Recent  Import   close   close All
Save Save AS Revert Page Setup.. Print.. Quit
Open = uimenu(File1, 'Label', 'Open');
Open_next = uimenu(File1, 'Label', 'Open Next');
Open_samples = uimenu(File1, 'Label', 'Open Samples');
Open_Recent= uimenu(File1, 'Label', 'Open Recent');
Import = uimenu(File1, 'Label', 'Import');

Bclose= uimenu(File1, 'Label', 'close', 'Separator', 'on');
close_All= uimenu(File1, 'Label', 'close All');
Save = uimenu(File1, 'Label', 'Save');

Save_AS= uimenu(File1, 'Label', 'Save AS');
Revert= uimenu(File1, 'Label', 'Revert');
Page_Setup= uimenu(File1, 'Label', 'Page Setup', 'Separator', 'on');

Print= uimenu(File1, 'Label', 'Print..');
Quit= uimenu(File1, 'Label', 'Quit');

%
help = uimenu(Help1, 'Label', 'Aide', 'callback', @Fhelp);

Fabout= uimenu(Help1, 'Label', 'About', 'Separator', 'on', 'callback', @FAbou);

% deuxieme MMenu EDIT
% Undo Cut Copy COpY to System Paste Paste Contro.. Clear Clear Outside
% Fill Draw Invert Selection Options
MHome = uimenu(Edit1, 'Label', 'Home', 'Separator', 'on', 'callback', @FHome);

MConnection = uimenu(Edit1, 'Label', 'Connexion', 'callback', @connexion);

MDiagnostic =
uimenu(Edit1, 'Label', 'Diagnostic', 'Separator', 'on', 'callback', @diagnostic);
MCapteurs = uimenu(Edit1, 'Label', 'Capteurs', 'Separator', 'on', 'callback',
@Fcapteur);
MCapteurs0 = uimenu(Edit1, 'Label', 'Capteurs d oxygène', 'callback', @Fcoxy);
MCode = uimenu(Edit1, 'Label', 'Code
défaut', 'Separator', 'on', 'callback', @FtableInfo);

% cré bouton paint
paintbutton= uicontrol ( fig1 , 'style' , 'push' , 'Position', [2 670 40

```

```

30],...
'string' , 'paint','callback',@paint); % on replace num 1 par la fonctione
qu'on veut executé

% rendre button inactif : set(bp1 , 'enable' , 'off' )

%-----
%-----
%----- panel

p = uipanel(fig1,'Title','',...
            'BackgroundColor',[0.1 0.1 0],...
            'Position',[.87 .001 .13 .999]);

p1 = uipanel(p,'Title','Couleur','ForegroundColor','y',...
            'BackgroundColor',[0 0 0],...
            'Units','normalized',...
            'Position',[0 0.87 1 0.12]);
sliderR= uicontrol(p1,'Style','slider',...
                 'Min',0,'Max',1,'Value',0,...
                 'SliderStep',[0.1 0.1],...
                 'BackgroundColor',[1 0 0],...
                 'Units','normalized',...
                 'Position',[0.1 0.78 0.8 0.2],...
                 'CreateFcn',@sliderR_CreateFcn);
sliderG= uicontrol(p1,'Style','slider',...
                 'Min',0,'Max',1,'Value',0,...
                 'SliderStep',[0.1 0.1],...
                 'BackgroundColor',[0 1 0],...
                 'Units','normalized',...
                 'Position',[0.1 0.60 0.8 0.2],...
                 'CreateFcn',@sliderG_CreateFcn);
sliderB= uicontrol(p1,'Style','slider',...
                 'Min',0,'Max',1,'Value',0,...
                 'SliderStep',[0.1 0.1],...
                 'BackgroundColor',[0 0 1],...
                 'Units','normalized',...
                 'Position',[0.1 0.40 0.8 0.2],...
                 'CreateFcn',@sliderB_CreateFcn);
slider1= uicontrol(p,'Style','slider',...
                 'Min',0,'Max',1,'Value',0,...
                 'SliderStep',[0.1 0.1],...
                 'BackgroundColor',[0 0 1],...
                 'Units','normalized',...
                 'Position',[0.1 0.7 0.8 0.1],...
                 'CreateFcn',@slider1_CreateFcn);

p2 = uipanel(fig1,'Title','',...
            'BackgroundColor',[0.1 0.1 0],...
            'Position',[.001 .001 .03 .999]);

p3 = uipanel(fig1,'Title','',...
            'BackgroundColor',[0.1 0.1 0],...
            'Position',[.836 .001 .03 .999]);

% axe affichge
axes1 = axes('Parent',fig1,'Position',[.05 .08 .77
.88], 'Box','off','XLimMode', 'manual', 'YLimMode', 'manual','NextPlot',

```

```

'add', 'XTick', [],...
'YTick', [], 'XTickLabel', [], 'YTick', [], 'XTickLabel', [], 'YTickLabel',
[], 'XColor', [1 1 1], 'YColor', [1 1 1]);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Load the Redo icon
%icon = fullfile(matlabroot, '/toolbox/matlab/icons/greenarrowicon.gif');
[cdata,map] = imread('tool_rectangle.gif');

% Convert white pixels into a transparent background
map(find(map(:,1)+map(:,2)+map(:,3))==3) = NaN;

% Convert into 3D RGB-space
cdataRedo = ind2rgb(cdata,map);
cdataUndo = cdataRedo(:, [16:-1:1],:);
%Now let's add these icons to the default figure toolbar:

% Add the icon (and its mirror image = undo) to the latest toolbar
rectanglebutton = uipushtool('cdata',cdataUndo, 'tooltip','*Rectangular* or
rounded rectangular selections(right click to switch)',
'ClickedCallback',@rectangle1);

% Load the Redo icon
%icon = fullfile(matlabroot, '/toolbox/matlab/icons/greenarrowicon.gif');
[cdata1,map1] = imread('tool_ellipse.gif');

% Convert white pixels into a transparent background
map(find(map(:,1)+map(:,2)+map(:,3))==3) = NaN;

% Convert into 3D RGB-space
cdataRedo1 = ind2rgb(cdata1,map1);
cdataUndo1 = cdataRedo1(:, [16:-1:1],:);
%Now let's add these icons to the default figure toolbar:

% Add the icon (and its mirror image = undo) to the latest toolbar
cerclebutton = uipushtool('cdata',cdataUndo1, 'tooltip','*oval*, elliptical
or brush selections (right click to switch)', 'ClickedCallback',@cercle1);

%ù%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% supprierm
% Load the Redo icon
%icon = fullfile(matlabroot, '/toolbox/matlab/icons/greenarrowicon.gif');
[cdata2,map2] = imread('supprimer.gif');

% Convert white pixels into a transparent background
map2(find(map2(:,1)+map2(:,2)+map2(:,3))==3) = NaN;

% Convert into 3D RGB-space
cdataRedo2 = ind2rgb(cdata2,map2);
cdataUndo2 = cdataRedo2(:, [16:-1:1],:);
%Now let's add these icons to the default figure toolbar:

% Add the icon (and its mirror image = undo) to the latest toolbar

```

```

eraserbutton = uipushtool('cdata',cdataUndo2, 'tooltip','*oval*, elliptical
or brush selections (right click to switch)', 'ClickedCallback',@eraser);

[cdata3,map3] = imread('save.gif');

% Convert white pixels into a transparent background
map3(find(map3(:,1)+map3(:,2)+map3(:,3)==3)) = NaN;

% Convert into 3D RGB-space
cdataRedo3 = ind2rgb(cdata3,map3);
cdataUndo3 = cdataRedo3(:,[16:-1:1],:);
%Now let's add these icons to the default figure toolbar:

% Add the icon (and its mirror image = undo) to the latest toolbar
savebutton = uipushtool('cdata',cdataUndo3, 'tooltip','*oval*, elliptical or
brush selections (right click to switch)', 'ClickedCallback',@save1);

%% paramètre de communication Serial
p2 = uipanel(p, 'Title', 'Paramètres Port', 'ForegroundColor', 'y', ...
            'BackgroundColor', [0 0 0], ...
            'Units', 'normalized', ...
            'Position', [0 0.26 1 0.25]);

textBaudRate = uicontrol( p , 'style' , 'text', ...
                        'Units', 'normalized', ...
                        'Position', [0.01 0.42 0.5 0.03], ...
                        'string' , 'Baud Rate' , 'fontsize' , 11 );

textParity = uicontrol( p , 'style' , 'text', ...
                      'Units', 'normalized', ...
                      'Position', [0.01 0.35 0.5 0.03], ...
                      'string' , 'Data bits' , 'fontsize' , 11 );

Stopbits= uicontrol( p , 'style' , 'text', ...
                   'Units', 'normalized', ...
                   'Position', [0.01 0.28 0.5 0.03], ...
                   'string' , 'Stop bits' , 'fontsize' , 11 );

port_COM = uicontrol (p , 'Style' , 'popup' , 'String' ,
{'COM1', 'COM2', 'COM3', 'COM4', 'COM5', 'COM6', 'COM7', 'COM8'}, ...
                'Units', 'normalized', ...
                'Position', [0.6 0.44 0.3 0.05]);
BaudRate = uicontrol (p , 'Style' , 'popup' , 'String' ,
{'110', '300', '1200', '2400', '4800', '9600', '19200', '38400'} , ...
                'Units', 'normalized', ...
                'Position', [0.6 0.4 0.3 0.05]);

ValeurData = uicontrol (p , 'Style' , 'popup' , 'String' , {'7', '8'}, ...
                    'Units', 'normalized', ...
                    'Position', [0.6 0.33 0.3 0.05]);

```

```

ValeurSTOP = uicontrol (p , 'Style' , 'popup' , 'String' , {'1','2'},....
                        'Units','normalized',...
                        'Position',[0.6 0.26 0.3 0.05]);

connecter= uicontrol ( p , 'style' , 'push' , 'Units','normalized',...
                      'Position',[0.55 0.20 0.4 0.05], 'string' ,
                      'Connecter','callback',@fconnecter);

deconnecter= uicontrol ( p , 'style' , 'push' , 'Units','normalized',...
                        'Position',[0.01 0.20 0.4 0.05], 'string' ,
                        'Déconnecter','callback',@fdeconnecter );

% pannel caractéristique voiture

pVoiture = uipanel(fig1, 'Title', '',...
                  'BackgroundColor',[0 0 0],...
                  'Position',[.05 .08 .77 .88]);

axes2 = axes('Parent',pVoiture, 'Position',[0.08 0 0.9
0.9], 'Box', 'off', 'XLimMode', 'auto', 'YLimMode', 'auto', 'NextPlot', 'add',
'XTick', [],...
'YTick', [], 'XTickLabel', [], 'YTick', [], 'XTickLabel', [], 'YTickLabel',
[], 'XColor', [1 1 1], 'YColor', [1 1 1]);
[image a ]=imread('C:\Users\hassane\Desktop\miftaha-matlab\miftaha
matlab\spped.png');
imshow(image,a)

textrevs = uicontrol( pVoiture , 'Style' , 'text',...
                      'Units','normalized',...
                      'BackgroundColor',[0 0 0],...
                      'Position',[0.215 0.64 0.06 0.04],...
                      'string' , '00' , 'fontsize' , 15, 'ForegroundColor', [1
0 0]);

textspeed = uicontrol( pVoiture , 'Style' , 'text',...
                       'Units','normalized',...
                       'BackgroundColor',[0 0 0],...
                       'Position',[0.47 0.665 0.06 0.04],...
                       'string' , '00' , 'fontsize' , 15, 'ForegroundColor', [1
0 0]);

textcoolant = uicontrol( pVoiture , 'Style' , 'text',...
                          'Units','normalized',...
                          'BackgroundColor',[0 0 0],...
                          'Position',[0.71 0.675 0.06 0.04],...
                          'string' , '00' , 'fontsize' , 15, 'ForegroundColor', [1
0 0]);

```



```

textAccel = uicontrol( pVoiture , 'Style' , 'text',...
    'Units','normalized',...
    'BackgroundColor',[0 0 0],...
    'Position',[0.215 0.305 0.06 0.04],...
    'string' , '00' , 'fontsize' , 15,'ForegroundColor',[1
0 0]);

textThrottle = uicontrol( pVoiture , 'Style' , 'text',...
    'Units','normalized',...
    'BackgroundColor',[0 0 0],...
    'Position',[0.475 0.313 0.06 0.04],...
    'string' , '00' , 'fontsize' , 15,'ForegroundColor',[1
0 0]);

textBoost = uicontrol( pVoiture , 'Style' , 'text',...
    'Units','normalized',...
    'BackgroundColor',[0 0 0],...
    'Position',[0.715 0.295 0.06 0.04],...
    'string' , '00' , 'fontsize' , 15,'ForegroundColor',[1
0 0]);
set(pVoiture,'Visible','off');
%----- connexion diagnostique diagnostique avancé capteurs capteur
d'oxydène
% créé button paint

buttonHome= uicontrol ( fig1 , 'style' , 'pushbutton' , 'Position',[520 670 80
30],...
    'string' , ' Home ' , 'callback',@FHome); % on replace num 1 par la
fonctione qu'on veut exécuté

buttonconnexion= uicontrol ( fig1 , 'style' , 'pushbutton' , 'Position',[600
670 80 30],...
    'string' , ' Connexion ' , 'callback',@connexion); % on replace num 1 par
la fonctione qu'on veut exécuté

buttonValeur= uicontrol ( fig1 , 'style' , 'pushbutton' , 'Position',[680 670
80 30],...
    'string' , ' Diagnostic ' , 'callback',@diagnostic); % on replace num 1
par la fonctione qu'on veut exécuté

buttoncapteur= uicontrol ( fig1 , 'style' , 'pushbutton' , 'Position',[760 670
80 30],...
    'string' , ' Capteurs ' , 'callback',@Fcapteur); % on replace num 1 par
la fonctione qu'on veut exécuté

capteuroxygene = uicontrol ( fig1 , 'style' , 'pushbutton' , 'Position',[840
670 110 30],...
    'string' , ' Capteurs d oxygène' , 'callback',@Fcoxy); % on replace num 1
par la fonctione qu'on veut exécuté

InfoOBD = uicontrol ( fig1 , 'style' , 'pushbutton' , 'Position',[950 670 80
30],...
    'string' , ' Code défaut' , 'callback',@FtableInfo); % on replace num 1
par la fonctione qu'on veut exécuté

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%%%%%%%%%%%%   infos véhicule

tableInfo = uipanel(fig1,'Title','',...
    'BackgroundColor',[0 0 0],...
    'Position',[.05 .08 .77 .88]);

Cname={'PID                               ','
Description
',...
    'Valeur'}
format={'char','char','char'};
table=uitable(tableInfo,'ColumnFormat',format,'Units','normalized',...
    'Position',[0.1 0.1 0.8 0.8],'ColumnName',Cname);

[mesdonnees,txt,tab]=xlsread('C:\Users\hassane\Desktop\miftaha-matlab\miftaha
matlab\liste.xlsx');
set(table,'Data',tab);
texinfo = uicontrol( tableInfo , 'Style' , 'text',...
    'Units','normalized',...
    'BackgroundColor',[0 0 0],...
    'Position',[0 0.92 0.5 0.04],...
    'string' , 'Codes défauts de P0000 à P0299 (contrôle du
dosage air/carburant)' , 'fontsize' , 10,'ForegroundColor',[1 0 0]);
popupm = uicontrol(tableInfo,'Style','popup',...
    'String', {'Codes de P0000 à P0299','Codes de P0300 à P0399','Codes de P0400
à P0499','Codes de P0500 à P0599','Codes de P0600 à P0699','Codes de P0700 à
P0799'},...
    'Position', [20 560 200 50],'callback',@codedefault);

set(tableInfo,'Visible','off');

% button paint

%%-----

pcapteuroxy = uipanel(fig1,'Title','',...
    'BackgroundColor',[0 0 0],...
    'Position',[.05 .08 .77 .88]);

axes3 = axes('Parent',pcapteuroxy,'Position',[0.4 0.57 0.3
0.5],'Box','off','XLimMode','auto','YLimMode','auto','NextPlot','add',
'XTick', [],...
'YTick', [], 'XTickLabel', [], 'YTickLabel', [], 'XTickLabel', [], 'YTickLabel',
[], 'XColor', [1 1 1], 'YColor', [1 1 1]);

[image a ]=imread('C:\Users\hassane\Desktop\miftaha-matlab\miftaha
matlab\sonde.GIF');
imshow(image,a)

Cname={'PID                               ','
Description
',...
    'Valeur'}
format={'char','char','char'};
table=uitable(tableInfo,'ColumnFormat',format,'Units','normalized',...
    'Position',[0.1 0.1 0.8 0.8],'ColumnName',Cname);

```

```

Cname={'PID
Description
',...
      'Unités','Valeur'}
formatO={'char','char','char'};
tableCoxygene=uitable(pcapteuroxy,'ColumnFormat',formatO,'Units','normalized'
,...
                      'Position',[0.1 0.05 0.8 0.6],'ColumnName',Cname);

textMode5 = uicontrol( pcapteuroxy , 'Style' , 'text',...
                      'Units','normalized',...
                      'BackgroundColor',[0 0 0],...
                      'Position',[0.05 0.95 0.15 0.05],...
                      'string' , 'Lire Mode 5' , 'fontsize' ,
15,'ForegroundColor',[1 0 0]);

set(pcapteuroxy,'Visible','off');

% set(pcapteuroxy,'Visible','off');

%%
%manual
pPrin = uipanel(fig1,'Title','',...
               'BackgroundColor',[0 0 0],...
               'Position',[.05 .08 .77 .88]);

axesp = axes('Parent',pPrin,'Position',[-0.36 -0.1 1.9
1],'Box','off','XLimMode','auto','YLimMode','auto','NextPlot','add',
'XTick',[],...
'YTick',[],'XTickLabel',[],'YTick',[],'XTickLabel',[],'YTickLabel',
[],'XColor',[1 1 1],'YColor',[1 1 1]);

[image a]=imread('C:\Users\hassane\Desktop\miftaha-matlab\miftaha
matlab\BackGround.jpg');
imshow(image,a)

textvitesse = uicontrol( pPrin , 'Style' , 'text',...
                        'Units','normalized',...
                        'BackgroundColor',[0 0 0],...
                        'Position',[0.44 0.22 0.15 0.12],...
                        'string' , '000' , 'fontsize' , 50,'ForegroundColor',[1
0 0]);

textair = uicontrol( pPrin , 'Style' , 'text',...
                    'Units','normalized',...
                    'BackgroundColor',[0 0 0],...
                    'Position',[0.86 0.22 0.05 0.05],...
                    'string' , '00' , 'fontsize' , 15,'ForegroundColor',[1
0 0]);

textTemp = uicontrol( pPrin , 'Style' , 'text',...
                     'Units','normalized',...
                     'BackgroundColor',[0 0 0],...
                     'Position',[0.8 0.22 0.05 0.05],...
                     'string' , '00' , 'fontsize' , 15,'ForegroundColor',[1

```

```

0 0]);

textTour = uicontrol( pPrin , 'Style' , 'text',...
                    'Units','normalized',...
                    'BackgroundColor',[0 0 0],...
                    'Position',[0.15 0.22 0.05 0.05],...
                    'string' , '00' , 'fontsize' , 15,'ForegroundColor',[1
0 0]);

                                %%%%%%%%%ù----- layout capteur
Pcapteur = uipanel(fig1,'Title',' ',...
                  'BackgroundColor',[0 0 0],...
                  'Position',[.05 .08 .77 .88]);

Cnamecapteur={'PID' , ' ',
Description
',...
'Valeur'}
format={'char','char','char'};
tableCapteur=uitable(Pcapteur,'ColumnFormat',format,'Units','normalized',...
                    'Position',[0.1 0.1 0.8
0.8],'ColumnName',Cnamecapteur);

textModel = uicontrol( Pcapteur , 'Style' , 'text',...
                    'Units','normalized',...
                    'BackgroundColor',[0 0 0],...
                    'Position',[0.05 0.95 0.15 0.05],...
                    'string' , 'Lire Mode 1' , 'fontsize' ,
15,'ForegroundColor',[1 0 0]);
set(Pcapteur,'Visible','off');

function paint(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

CFlag = 0;
RFlag = 0;
PaintFlag = 1;
Eflag = 0;

end

function eraser(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

CFlag = 0;
RFlag = 0;
PaintFlag = 0;
Eflag = 1;

```

```

end

% --- Executes on button press in pushbutton6.
function cercle1(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

CFlag = 1;
RFlag = 0;
PaintFlag = 0;
Eflag = 0;
end

% --- Executes on button press in pushbutton6.
function rectangle1(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

CFlag = 0;
RFlag = 1;
PaintFlag = 0;
Eflag = 0;
end

%
function save1(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

[FileName, PathName, filterindex] = uiputfile({'*.jpg', 'JPEG (*.jpg)';...
    '*.bmp', 'Bitmap (*.bmp)';...
    '*.gif', 'GIF (*.gif)';...
    '*.*', 'All Files (*.*)'},...
    'Save Picture', 'Untitled');

if filterindex
    h = getframe(axes1);
    imwrite(h.cdata, [PathName, FileName]);
end
end

function clear1(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

cla(axes1);
Eflag = 0;
end

function exit1(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
clear global flag PaintFlag x0 y0 x y;

```

```

clear global CFlag RFlag;
clear global h rect;
close;
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function sliderR_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to sliderR (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: slider controls usually have a light gray background.
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function sliderG_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to sliderG (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: slider controls usually have a light gray background.
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function sliderB_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to sliderB (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: slider controls usually have a light gray background.
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function slider1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to slider1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: slider controls usually have a light gray background.
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

end

```

```

% --- Executes on mouse press over figure background, over a disabled or
% --- inactive control, or over an axes background.
function figure1_WindowButtonUpFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to figure1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

temp = get(slider1, 'Value');
LineWidth = temp + 2;
tempR = get(sliderR, 'Value');
tempG = get(sliderG, 'Value');
tempB = get(sliderB, 'Value');
Color = [tempR tempG tempB];

flag = 0;
% PaintFlag = 0;
% Eflag = 0;

if CFlag
    set(h, 'Visible', 'off');
    h=[];
    if rect(3)*rect(4)~=0
        rectangle('Position',rect,'Curvature',[1,1],...
            'EdgeColor',Color, 'LineWidth', LineWidth)
    end
end

if RFlag
    set(h, 'Visible', 'off');
    h=[];
    if rect(3)*rect(4)~=0
        rectangle('Position',rect,...
            'EdgeColor',Color, 'LineWidth', LineWidth)
    end
end

end

% --- Executes on mouse press over figure background, over a disabled or
% --- inactive control, or over an axes background.
function figure1_WindowButtonDownFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to figure1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

flag = 1;
cp = get(axes1, 'CurrentPoint');
x = cp(1,1);
y = cp(1,2);
tempR = get(sliderR, 'Value');
tempG = get(sliderG, 'Value');
tempB = get(sliderB, 'Value');
Color = [tempR tempG tempB];

if PaintFlag

```



```

        'EdgeColor','w','FaceColor','w');
    end
    % ÉÏ·¼ÏØÊâÇøÓò
    if y+Eradius>1 && x-Eradius>0 && x+Eradius<1
        rx = x-Eradius;
        ry = min(1,y+Eradius) - 2*Eradius;
        rectangle('Position',[rx,ry,2*Eradius,2*Eradius], ...
            'EdgeColor','w','FaceColor','w');
    end
    % ÌÂ·¼ÏØÊâÇøÓò
    if y-Eradius<0 && x-Eradius>0 && x+Eradius<1
        rx = x-Eradius;
        ry = 0;
        rectangle('Position',[rx,ry,2*Eradius,2*Eradius], ...
            'EdgeColor','w','FaceColor','w');
    end
end
end
end

%% communication Serial
% 'ClickedCallback',@fconnector

function fconnector(hObject, eventdata, handles)

    %Com=get(handles.
    COMV=get(port_COM,'Value');
    COMN=get(port_COM,'String');
    port=COMN{COMV}
    % baud rate

    baudeV=get(BaudRate,'Value');
    baudeN=get(BaudRate,'String');
    baude=baudeN{baudeV};

    % valeurdata
    ValeurDataV=get(ValeurData,'Value');
    ValeurDataN=get(ValeurData,'String');
    valeurD=ValeurDataN{ValeurDataV};

    % valeur Stop
    ValeurSTOPV=get(ValeurSTOP,'Value');
    ValeurSTOPN=get(ValeurSTOP,'String');
    ValeurS=ValeurSTOPN{ValeurSTOPV};

    % création port serial
    serialPort = serial(COMN);
    set(serialPort,'BaudRate',baude);
    set(serialPort,'DataBits',valeurD);
    set(serialPort,'StopBits',ValeurS);
    serialPort.BytesAvailableFcnMode = 'terminator';
    serialPort.BytesAvailableFcn = @Flire;
    fopen(serialPort);

```

```

end

function fdeconnecter(hObject, eventdata, handles)
fclose(serialPort);
end

function LocalisationPrise(hObject, eventdata, handles)
f = figure ; %% crée un figure
%% les propriétés
%valeur_propri = get( fig1, 'nom_propriété') ; %% set nom
set(f, 'Name' , 'OBD prise' , 'NumberTitle','off');
    ax = axes('Units','pixels');
        surf(peaks)
            popup = uicontrol('Style', 'popup',...
'String', {'parula','jet','hsv','hot','cool','gray'},...
'Position', [20 340 100 50]);

% Create push button
    btn = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Clear',...
'Position', [20 20 50 20]);

% Create slider
    sld= uicontrol('Style', 'slider',...
'Min',1,'Max',50,'Value',41,...
'Position', [400 20 120 20]);

% Add a text uicontrol to label the slider.
    txt = uicontrol('Style','text',...
'Position',[400 45 120 20],...
'String','Vertical Exaggeration');

end

function connexion(hObject, eventdata, handles)

if strcmp(get(ValeurSTOP,'Visible'),'on')

set(p2,'Visible','off');
set(connecter,'Visible','off');
set(deconnecter,'Visible','off');
set(ValeurSTOP,'Visible','off');
set(ValeurData,'Visible','off');
set(BaudRate,'Visible','off');
set(port_COM,'Visible','off');
set(Stopbits,'Visible','off');
set(textBaudeRate,'Visible','off');
set(textParity,'Visible','off');
else

set(p2,'Visible','on');
set(connecter,'Visible','on');
set(deconnecter,'Visible','on');
set(ValeurSTOP,'Visible','on');
set(ValeurData,'Visible','on');
set(BaudRate,'Visible','on');
set(port_COM,'Visible','on');

```

```

set(Stopbits, 'Visible', 'on');
set(textBaudRate, 'Visible', 'on');
set(textParity, 'Visible', 'on');
end
end

function diagnostic(hObject, eventdata, handles)

if strcmp(get(pVoiture, 'Visible'), 'on')

set(pVoiture, 'Visible', 'off');
set(pPrin, 'Visible', 'on');
set(Pcapteur, 'Visible', 'off');
set(pcapteuroxy, 'Visible', 'off');
set(tableInfo, 'Visible', 'off');

else
set(pVoiture, 'Visible', 'on');
set(tableInfo, 'Visible', 'off');
set(pPrin, 'Visible', 'off');
set(Pcapteur, 'Visible', 'off');
set(pcapteuroxy, 'Visible', 'off');
end
end

function FtableInfo(hObject, eventdata, handles)

if strcmp(get(tableInfo, 'Visible'), 'on')

set(tableInfo, 'Visible', 'off');
set(pPrin, 'Visible', 'on');
set(Pcapteur, 'Visible', 'off');
set(pcapteuroxy, 'Visible', 'off');
else
set(tableInfo, 'Visible', 'on');
set(pPrin, 'Visible', 'off');
set(pVoiture, 'Visible', 'off');
set(Pcapteur, 'Visible', 'off');
set(pcapteuroxy, 'Visible', 'off');
end
end

function codedefault(hObject, eventdata, handles)

if(get(popupm , 'Value')==1)
[mesdonnees,txt,tab]=xlsread('C:\Users\hassane\Desktop\miftaha-matlab\miftaha
matlab\liste.xlsx');
set(texinfo, 'string' , 'Codes défauts de P0000 à P0299 (contrôle du dosage
air/carburant)');
set(table, 'Data', tab);
end
if(get(popupm , 'Value')==2)
[mesdonnees,txt,tab]=xlsread('C:\Users\hassane\Desktop\miftaha-matlab\miftaha
matlab\liste2.xlsx');
set(texinfo, 'string' , 'Codes défauts de P0300 à P0399 (système d allumage)');

set(table, 'Data', tab);
end
if(get(popupm , 'Value')==3)
[mesdonnees,txt,tab]=xlsread('C:\Users\hassane\Desktop\miftaha-matlab\miftaha

```

```

matlab\liste3.xlsx');
set(texinfo, 'string' , 'Codes défauts de P0400 à P0499(contrôle des émissions
auxiliaires)');

set(table, 'Data', tab);
end
if(get(popupm , 'Value')==4)
[mesdonnees,txt,tab]=xlsread('C:\Users\hassane\Desktop\miftaha-matlab\miftaha
matlab\liste4.xlsx');
set(texinfo, 'string' , 'Codes défauts de P0500 à P0599 (côntrole du ralenti
moteur)');

set(table, 'Data', tab);
end
if(get(popupm , 'Value')==5)
[mesdonnees,txt,tab]=xlsread('C:\Users\hassane\Desktop\miftaha-matlab\miftaha
matlab\liste5.xlsx');
set(texinfo, 'string' , 'Codes défauts de P0600 à P0699(ordinateur de bord et
sorties auxiliaires)');

set(table, 'Data', tab);
end

end

function Fcapteur(hObject, eventdata, handles)

if strcmp(get(Pcapteur, 'Visible'), 'on')
set(Pcapteur, 'Visible', 'off');
set(pPrin, 'Visible', 'on');
set(pcapteuroxy, 'Visible', 'off');
else
set(Pcapteur, 'Visible', 'on');
set(pPrin, 'Visible', 'off');
set(pVoiture, 'Visible', 'off');
set(pcapteuroxy, 'Visible', 'off');
[Donnees,txt,tab]=xlsread('C:\Users\hassane\Desktop\miftaha-matlab\miftaha
matlab\model.xlsx');
set(tableCapteur, 'Data', tab);

end
end

function Fcoxy(hObject, eventdata, handles)

if strcmp(get(pcapteuroxy, 'Visible'), 'on')
set(pcapteuroxy, 'Visible', 'off');
set(pPrin, 'Visible', 'on');
set(tableInfo, 'Visible', 'off');
else

set(pcapteuroxy, 'Visible', 'on');
set(Pcapteur, 'Visible', 'off');
set(tableInfo, 'Visible', 'off');

```

```

set(pPrin, 'Visible', 'off');
set(pVoiture, 'Visible', 'off');
[Donnees,txt,tab]=xlsread('C:\Users\hassane\Desktop\miftaha-matlab\miftaha
matlab\mode5.xlsx');
set(tableCoxygene, 'Data', tab);

end

end

function FHome(hObject, eventdata, handles)

if strcmp(get(pPrin, 'Visible'), 'off')
set(pcapteuroxy, 'Visible', 'off');
set(pPrin, 'Visible', 'on');
set(tableInfo, 'Visible', 'off');
set(Pcapteur, 'Visible', 'off');
set(tableInfo, 'Visible', 'off');
set(pVoiture, 'Visible', 'off');

end

end

function Fhelp(hObject, eventdata, handles)
open('C:\Users\hassane\Desktop\miftaha-matlab\miftaha matlab\help\help.pdf');
end

function FAbou(hObject, eventdata, handles)
[cdata5,map5] = imread('trees.tif');
msg=msgbox('Gren Teck
Réaliser par : HASSANE OUZZANI CHAHDI
contact : h.o.chahdi@gmail.com',...
'About', 'custom', cdata5, map5);
end

function Flire(hObject, eventdata, handles)

if( get(serialPort, 'BytesAvailable')>0)

valeur = fscanf(serialPort, '%s', get(serialPort, 'BytesAvailable'));
end

% les informations sont envoyer de la carte arduino vers l'interface matlab
% de la forme suivante P0123+valeur
%

PID=valeur(2:5);

valeur=valeur(6:length(valeur ));

```

```
% 0D    Vitesse du véhicule en km/h

if(PID=='0D')

end

% 0F    15  Température d'air d'admission en °C
if(PID=='0F')

end

% 74    116 Régime du/des turbo(s) en tr/min
if(PID=='74')

end

end

end

end
```


Analyse des technologies existantes de capteurs de gaz antipollution pour l'automobile

Synthèse d'un nouveau capteur à base de transistor HEMT (Al,In)GaN/GaN ou MSM B GaN/GaN

Résumé

Durant mon stage de fin d'études à l'IEMN, j'ai essayé d'exploiter mes connaissances en microélectronique, systèmes embarqués et informatiques industrielle, pour présenter un travail correct et cohérent. Ce travail a été divisé en trois parties principales :

La première partie était dédiée à l'étude, l'analyse des principes, et les techniques de la détection du gaz à base d'électrolyte solide, en vue d'améliorer la sélectivité, la sensibilité et la fiabilité de ces capteurs. Des résultats d'analyse en salle blanche d'une sonde lambda NOx intégré dans les automobiles Peugeot sont présentés.

La deuxième partie était destinée à l'étude d'un capteur antipollution à base de transistor HEMT (Al, In) GaN/GaN ou MSM B GaN/GaN. Une étude des caractéristiques des matériaux grand gap et plus particulièrement du GaN. Dans ce contexte, des résultats de sensibilité de transistor HEMT au gaz NO, NO₂, et NH₃ sont présentés. Les différentes méthodes d'optimisation que ce soit au niveau électrique ou thermique ou sensibilité sont explicitées.

La troisième partie a présenté, d'une part l'étude et conception d'un circuit permet de faire un diagnostic auto, d'autre part Pour développement d'une interface visuelle Homme/Machine sous le logiciel Matlab, pour suivre le flux d'informations et l'échange des données d'une manière efficace dans le bus CAN.

