



Hydrogénenez-moi!

Résumé du projet

Encourageons le nettoyage périodique des véhicules à moteur thermique afin de réduire leurs émissions polluantes et leur consommation.

Equipe de projet :

Métiers

Henri Bussat et Nadiya Palonova

Polymécanicien et dessinatrice-constructrice industrielle

Année d'apprentissage

4ème année

Nom de l'école

DIVTEC

Noms des entreprises

Ateliers Busch SA., SOLO Swiss SA.

Noms des enseignants

Hayyane Filali Mohammed, Claude Gobat

Noms des maîtres d'apprentissage

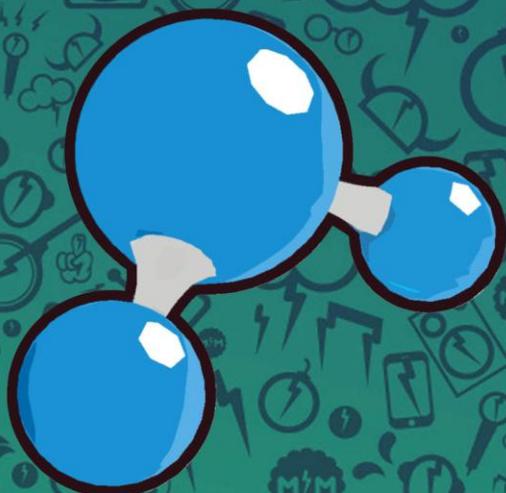
Olivier Choulât et Phillippe Sondeneker

Projet

Planification

Catégorie du concours

Prix planification



Résumé

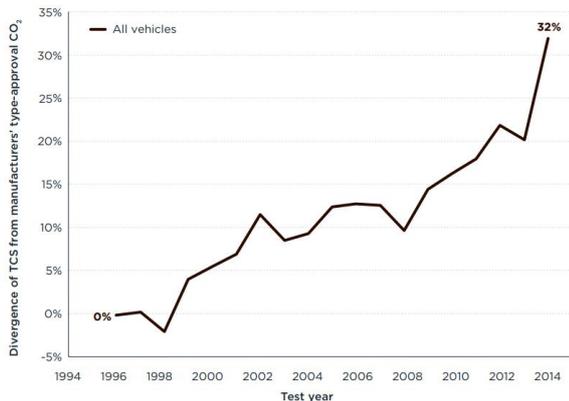


Figure 24. Divergence of TCS data from manufacturers' type-approval CO₂ values.

Figure 1 Divergence des données TCS avec les valeurs de CO₂ des constructeurs.

Source: ICCT International Council on Clean Transportation Rapport 2015b

Le système ayant fait ses preuves jusqu'à inciter BOSCH à développer des injecteurs à eau (Waterboost). Pourtant, lorsque le citoyen suisse essaye de faire ce geste écologique, il est pénalisé. À ce jour, ce moyen d'entretien et de réduction de consommation de carburant est méconnu des garages, des assurances, et des experts des véhicules. A l'aide de l'entreprise HHO Green Tech, nous avons testé l'efficacité de décarbonisation.

Si seulement 10% du parc automobile suisse (457 000 voitures) était équipé de ce système et que dans le pire des cas la réduction de la pollution et l'économie d'essence n'étaient que de 10%, alors la réduction de pollution équivaldrait à la production polluante de 45'700 véhicules.^[2]



Figure 2
"Tu sais, notre équipe de piste pue, lorsque notre star de saut à la perche est meilleur au limbo."



Figure 3
"Je l'ai testé. Il a pris une sorte de drogue qui améliore les performances."

[1] Loi sur le CO₂ (L'Assemblée fédérale de la Confédération Suisse, 23 décembre 2011 (Etat le 1^{er} janvier 2018))

[2] En 2017, l'Office fédéral de la statistique (OFS) a relevé 4'570'823 véhicules. (4'570'823*0.12=45708 véhicules)
<https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/mobilite-transport/infrastructures-transport-vehicules/vehicules.html>

Sommaire

1	Introduction	4
1.1.	Situation de départ	4
1.2.	Motivation	6
2	Recherche d'idées et définition du projet	6
2.1.	Définition du projet	7
3	Planification du projet	7
3.1.	Les étapes les plus importantes	7
3.2.	Plan détaillé des tâches	8
4	Mise en œuvre concrète	9
5	Calculs	12
5.1.	Relevé des mesures	12
5.2.	Graphiques et analyse	13
5.3.	Analyse du système	15
6	Rétrospective	18
6.1.	Prises de conscience	18
7	Perspectives	19
8	Remerciements	20
9	Bibliographie	21
9.1.	Illustration	21
9.2.	Documentation	23
10	Annexes	27
10.1.	Zones des parcours	27
10.2.	Fiches techniques des véhicules	28
10.3.	Relevés des essais de pollution	30
10.4.	Graphiques des valeurs relevées	33
10.5.	Autres données	35
10.6.	Articles de presse	35
10.7.	Valeurs des essais effectués par HHO Green Tech	38
10.8.	L'échange des mails	40

1 Introduction

1.1. Situation de départ

Energie grise

« Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme. » Antoine Lavoisier (1743-1794)

La Suisse est un pays industrialisé au pouvoir d'achat élevé. Ce pouvoir d'achat, bénéfique pour les citoyens, génère une consommation abondante des ressources renouvelables (le bois, l'eau, l'énergie solaire), non renouvelables (les minéraux, le pétrole, le gaz naturel) et surtout d'énergie grise.

Cette énergie est invisible et omniprésente dans tous les objets qui nous entourent, mais pas seulement. Nous-mêmes contenons de l'énergie grise. En effet, l'être humain dès sa conception, consomme de l'énergie pour son développement à travers des formes d'énergies différentes : nourriture, chaleur, mouvement...

Cette description est également valable pour la nourriture. La production de viande est très énergivore, alors que la production de céréales l'est nettement moins. De plus, les végétaux sont capables de générer de l'énergie par eux même, à travers la photosynthèse.

Dès l'aube de son évolution, l'homme ne cesse de s'inventer des outils. Or leur conception, leur utilisation et leur élimination demande de l'énergie.

Lorsque nous achetons un produit, nous regardons sa consommation énergétique. Sa consommation indiquée représente uniquement l'énergie d'utilisation. Il n'y a aucune information concernant l'énergie nécessaire à l'élaboration et à l'élimination du produit. C'est ce que l'on nomme : l'énergie grise.

Si on prend en compte le coût de l'énergie grise, alors l'entretien et la réparation du produit est plus écologique que son élimination ou le rachat d'un produit neuf. Par exemple, Kintsugi est l'art japonais de réparer la poteries cassées. (**Figure 4**)

Nous pouvons faire le lien entre l'excès de consommation d'énergie grise et la pollution chimique de l'eau, de l'air et des sols. Le réchauffement climatique est un symptôme de ces pollutions.

Fabrication d'un véhicule

Pour un nouveau véhicule, la matière première est extraite et transformée.

Or l'extraction de la matière première et sa transformation sont tout aussi énergivores que polluantes. Un exemple significatif : la production d'aluminium pour fabriquer le châssis (**Figure 5**). L'aluminium est produit à partir de la bauxite dans les pays du tiers monde où la protection de la faune et de la flore est infime. La moindre erreur humaine est fatale autant pour les habitants que pour la nature, comme cet accident industriel qui a eu lieu en Hongrie, le 4 octobre 2010. (**Figure 6**)^[3]



Figure 4 Kintsugi "jointure en or" - l'art japonais de réparer les objets en céramique brisé avec de l'or.



Figure 5 Un châssis d'une voiture matricé en aluminium



Figure 6 Un des 10 plaies d'Egypte : Inondation

« 1,1 million de mètres cubes de boue rouge toxique mélangée à de l'eau se sont déversés dans l'ouest du pays à la suite d'un accident industriel [...] »

Journal le Point International, le 8 octobre 2010

[3] Une marée rouge déferle sur la Hongrie (Le Point international, 8 octobre 2010) http://www.lepoint.fr/monde/une-maree-rouge-deferle-sur-la-hongrie-06-10-2010-1245775_24.php

Utilisation et réparation du véhicule

Pour l'année 2017, l'Office Fédéral de la Statistique a relevé 679 412 véhicules de travail utilisés. Dans le monde professionnel, le véhicule n'est rentable qu'une fois amorti. L'intérêt de le garder plus longtemps et de l'entretenir prend son sens et s'intègre dans une démarche écologique.

La production des véhicules et l'extraction du pétrole sont néfastes pour l'environnement. Néanmoins, l'homme moderne est dépendant du moteur à explosion. Aujourd'hui, le parc des voitures électriques et hybrides est limité sur le marché Suisse.^[4] Seul une poignée de privilégiés peuvent en acquérir une.

Contraint par le cumul de ces facteurs, l'homme moderne doit revoir ses moyens de déplacement et privilégier le transport en commun, le vélo ou la marche. Le cas échéant utiliser une voiture à moteur à explosion et donc consommer du pétrole.

La combustion dans un moteur à explosion est imparfaite. Avec le temps d'utilisation, le véhicule s'encrasse. La surépaisseur de calamine déposée dans la tuyauterie de ce dernier obstrue l'évacuation des gaz brûlés et forme un isolant thermique efficace. Or le catalyseur et le filtre à particules du véhicule ont besoin d'une forte chaleur pour fonctionner.

En moyenne, une voiture de tourisme parcourt 13'469 km par an,^[5] soit 37 km par jour. Lorsque le véhicule parcourt 18.5 km, l'essentiel du carburant est utilisé pour le chauffer et atteindre sa température de travail. Aujourd'hui, la majorité des voitures sont utilisées inefficacement.

Pour les raisons citées plus haut, un véhicule ancien rejette plus qu'un neuf.

La société de consommation pousse le détenteur du véhicule à racheter un nouveau après 5 ans d'utilisation (fin de garantie) ou lorsqu'une panne importante non-critique survient.

A chaque nouvel achat de la voiture, il est certain que des matières premières sont consommées. À chaque recyclage d'un véhicule ancien, les matières utilisées ne sont pas toutes récupérées. En Suisse, il est possible de récupérer jusqu'à 95% du poids du véhicule.^[6] (Figure 7).

Or, une voiture non conforme aux exigences de sécurité Suisse se retrouve dans les pays de l'est ou africains où la qualité du recyclage, la sécurité et l'écologie ne sont pas les priorités.^[7]

Entre 2003 et 2017, l'exportation des voitures anciennes est en augmentation constante.^[8] Finalement, la Suisse et l'Europe tendent à interdire les voitures polluantes au diesel. La pollution de l'air, des sols et de l'eau sera déplacée ailleurs, dans les pays pauvres. A cela, s'ajoute le danger que représente pour ces populations les véhicules accidentés revendus qui devrait être recyclés.

Voir **Figure 8** et **Figure 9**.

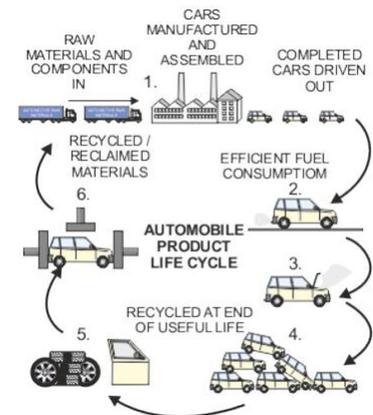


Figure 7 Le cycle de vie de véhicule

- 1 Fabrication et assemblage du véhicule à partir de la matière première et des pièces détachées.
2. Le temps d'utilisation du véhicule. Consommation efficace de carburant.
- 3 Usure et panne de véhicule
- 4 Le véhicule est transporté à la casse
- 5 Démantèlement du véhicule en pièces détachées et par type de matière. (Carburant et liquides, portières, garnitures, pneus)
- 6 écrasements du véhicule et le recyclage de la carcasse à la fonderie.



Figure 8 les voitures d'Europe en Afrique



Figure 9 Décharge géante des véhicules en Chine

[4] Pour l'année 2017, 17'258 nouvelles voitures écologiques ont été immatriculées. Statistiques des motorisations alternatives des voitures neuves (Office fédéral de l'énergie OFEN, 21 Septembre 2017) <http://www.bfe.admin.ch/energieetikette/00886/06772/index.html?lang=fr>

[5] Distances parcourues par les véhicules suisses (Office fédéral du développement territorial (ARE), 2002) (page 30) 13469/365 jours = 37km par jour, 37/2 = 18.5km en aller. <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/1587.pdf>

[6] Comment mon auto a échappé à la casse (Temps présent, L'émission du 15 mars 2018) <https://pages.rts.ch/emissions/temps-present/9292673-comment-mon-auto-a-echappe-a-la-casse.html#9292675>

[7] Déchets: scandales et gros profits (Pièces à conviction, 2014) <https://www.youtube.com/watch?v=bs8twzduwes>

[8] Caisse à la casse : qui passe à la caisse? (ABE, 25 mars 2003) <http://pages.rts.ch/emissions/abe/396428-caisse-a-la-casse-qui-passe-a-la-caisse-marketing-qu-est-ce-que-l-effet-lock-in.html>

Nos recherches nous ont conduit à prendre en compte non seulement la pollution émise par le véhicule pendant son fonctionnement, mais également, celle générée par sa fabrication et son élimination.

Le bon entretien adapté au véhicule permettrait de prolonger son cycle de vie (**Figure 7**), de réduire ses émissions et d'économiser du carburant.

1.2. Motivation

« Si tu veux quelque chose que tu n'as jamais eu, il te faudra faire ce que tu n'as jamais fait. »
 Thomas Jefferson

Nous n'avons encore jamais participé à un concours de telle envergure. C'est une opportunité de se tester, de faire face à ses acquis, de dépasser ses limites, de changer de point de vue et de collaborer en pluridisciplinarité. La réalisation de ce projet fut une expérience très enrichissante.

2 Recherche d'idées et définition du projet

La première idée fut inspirée par Monsieur Hayyane Filali Mohammed. Nous avons voulu concevoir un parc de jeu en plein air pour enfants, produisant de l'énergie écologique.

L'étude de faisabilité fit ressortir les problèmes de gestion du parc. En effet, comment mettre en place un système de récupération d'énergie résistant aux intempéries et au vandalisme ? Cette solution fut trop contraignante de part notre manque de connaissances en électricité (note formation est essentiellement sur la mécanique) et la complexité du projet.

Notre deuxième idée – créer une machine de musculation pour récupérer de l'énergie. Projet plus simple car géré à l'intérieur d'un bâtiment.

Néanmoins, nous avons écarté ces deux sujets en nous posant la question : « **Est-ce qu'il est nécessaire de produire plus d'énergie, alors que l'énergie produite existante est gaspillée ?** »

Pendant cette phase de recherche, nous avons également parlé de ce projet à nos entreprises respectives. Nos recherches nous ont conduit à trouver des moyens pour réduire la consommation de papier au sein de nos entreprises.

Notre troisième idée - trouver des moyens de réduire le gaspillage de papier dans nos entreprises. Ce sujet a dû être abandonné à mi-chemin, faute de coordination entre nos entreprises-formatrices. Nous étions à la recherche d'un sujet, sur lequel nous pourrions travailler en commun.

Puis, pendant les vacances de Noël, nous avons observé les lumières blanches des phares et rouges des catadioptrés des voitures. Nous étions ébahis par cette prouesse technologique. Dans cette émerveillement des lumières, une comparaison nous vint à l'esprit : " Et si les voitures étaient semblables aux globules rouges du corps humain." Elles quittent les voies secondaires et rejoignent "l'artère" principale. Alors vient le moment du bouchon, et c'est le drame ! Risque de collision, dysfonctionnement et problèmes de santé (pollution).

Une question se pose : « Existe-t-il des moyens d'assainir le véhicule afin de réduire sa consommation et ses émissions ». Après tout, les émissions sont aussi les symptômes d'une mauvaise "digestion" du carburant.

Notre quatrième idée – encourager l'entretien régulier des véhicules à moteurs thermiques. Ce sujet est neutre et n'interfère pas avec le secret professionnel de l'entreprise. Ce sujet touche autant les professionnels que les individus. Nous avons finalement opté pour cette idée. Le problème principal fut de trouver une entreprise suisse proposant ce service.



Figure 10 L'artère de nuit



Figure 11 Flux sanguin dans une artère (vue par l'artiste)

2.1. Définition du projet

Est-il raisonnable de changer de voiture tous les 5-10 ans ? La production de chaque nouveau véhicule nécessite de l'énergie (énergie grise) et implique une pollution chimique de l'environnement. (Figure 12)

Avec ces essais nous voulons savoir si changer de voiture tous les 5 ans est un geste écologique.

Nous avons axé notre projet sur la planification et la sensibilisation afin d'encourager notre entourage à nettoyer régulièrement leurs véhicules.



Figure 12 Exposition de villes Romandes "En voiture Simone!"

3 Planification du projet

Le but du projet est d'encourager le nettoyage périodique des véhicules à moteur à explosions, autant chez les professionnels que chez les particuliers.

Démarrage du projet « Hydrogénez-moi » le 8 janvier 2018, temps restant : dix semaines.

Néanmoins, avant de le soumettre au monde professionnel, nous avons voulu tester l'efficacité de la décarbonisation.

Voici les contraintes rencontrées :

1. Enrichir nos connaissances dans le domaine du véhicule à l'explosion.
2. Demander du soutien pour comprendre l'information recherchée en allemand et en anglais.
3. Trouver les personnes qui aimeraient faire l'assainissement de leurs véhicules.
4. Obtenir la validation de l'école pour faire des essais
5. Trouver les appareils de mesure d'émissions du véhicule
6. Trouver les professionnels en Suisse qui effectue l'assainissement du véhicule

3.1. Les étapes les plus importantes

Quoi	Délai
Se renseigner sur le fonctionnement de la décarbonisation	26.01.2018
Trouver les professionnels en suisse qui effectue l'assainissement du véhicule.	02.02.2018
Entretien avec le représentant de l'entreprise HHO Green Tech	07.02.2018
Entretien avec Monsieur Lucien Willemin à propos de l'énergie grise, l'impact de la voiture sur l'écologie.	16.02.2018
Organiser les tests d'antipollution dans le garage de l'école	07.03.2018
Finaliser la rédaction du rapport	21.03.2018
Proposer la solution d'assainissement du véhicule à nos entreprises	début d'avril
Créer une campagne de sensibilisation au sein de nos entreprises à travers des affiches.	mi-juillet
Faire un sondage, le listing des personnes qui désirent dépolluer leur véhicule.	mi-octobre
Etablir le planning en fonction de l'âge et du kilométrage des véhicules proposés.	mi-novembre
Dépolluer les véhicules avec la décarbonisation	début décembre

3.2. Plan détaillé des tâches

Quoi	Jusque quand
Se renseigner sur le fonctionnement de la décarbonisation	26.01.2018
Contacteur Monsieur Nicolas Sahli à propos de la décarbonisation	26.01.2018
Contacteur l'entreprise HHO Green Tech	02.02.2018
Entretien avec le représentant de l'entreprise HHO Green Tech Participants : Monsieur Hayyane Filali Mohammed, Monsieur Christophe Royer, Nadiya Palonova et Henri Bussat	07.02.2018
Entretien avec Monsieur Lucien Willemin à propos de l'énergie grise, l'impact de la voiture sur l'écologie.	16.02.2018
Obtenir l'autorisation de l'école pour faire les premiers essais sur les véhicules.	21.02.2018
Trouver les véhicules pour tester l'efficacité de la décarbonisation	21.02.2018
Trouver les appareils de mesures de monoxyde de carbone (CO), dioxyde de carbone (CO2) et les oxydes d'azote (NOx)	21.02.2018
Organiser les essais sur les véhicules dans le garage de l'école Participants : Monsieur Christophe Royer, professeurs mécaniciens d'automobile Messieurs Alain Guélat et Cédric Friche, les apprentis-mécaniciens automobile, Henri Bussat et Nadiya Palonova	21.02.2018
Obtenir l'autorisation de l'école pour faire le deuxième essai sur les véhicules.	06.03.2018
Effectuer les essais sur les véhicules chez le garagiste professionnel. Participants : Monsieur Christophe Royer, Monsieur Affolter Raphaël, Nadiya Palonova et Henri Bussat	07.03.2018
Calculer les réductions de pollution après l'assainissement.	10.03.2018
Finaliser la rédaction du rapport	21.03.2018
Proposer la solution d'assainissement du véhicule à nos entreprises	début d'avril
Créer une campagne de sensibilisation au sein de nos entreprises à travers des affiches.	mi-juillet
Faire un sondage, le listing des personnes qui désirent dépolluer leur véhicule.	mi-octobre
Etablir le planning en fonction de l'âge et du kilométrage des véhicules proposés.	mi-novembre
Dépolluer les véhicules avec la décarbonisation	Début décembre

4 Mise en œuvre concrète

Suivant la loi sur la protection des données privées, toutes les plaques d'immatriculation ont été floutées.

Dans un premier temps, nous avons complété nos connaissances théoriques sur le fonctionnement d'un véhicule à moteur à explosion, le fonctionnement de la décarbonisation et la combustion interne. Les entreprises Busch SA et SOLO Swiss nous ont grandement aidés à comprendre les principes chimiques et physiques lors de la combustion dans un moteur à explosion.

Depuis 1937, l'aviation tente d'utiliser de l'hydrogène liquide pour accroître la puissance des avions et réduire leur consommation.^[9] Le dihydrogène (H₂) en contact avec le dioxygène (O₂) génère de l'énergie.

Pendant nos recherches d'application de la décarbonisation, nous avons découvert que l'entreprise Bosch produit des injecteurs à eau (Waterboost System). Malheureusement, nous n'avons pas trouvé d'application pour ces injecteurs en Europe.^[10] (voir **Figure 13**)

Pour le nettoyage du véhicule, nous avons opté pour le générateur de gaz. Ce dernier électrolyse de l'eau distillée et produit le gaz l'oxyhydrogène (H₂+O₂). (voir **Figure 14**)

La voiture aspire l'air enrichi en oxygène et hydrogène. Ce mélange améliore la combustion des carburants, augmente légèrement la température de travail et accroît le rendement du véhicule. La combustion plus aboutie laisse échapper des gaz plus propres (moins de dioxydes de carbone (CO₂), d'oxydes d'azote (NO_x), d'hydrocarbures (HC),...)

Contrairement, à la bonbonne de gaz pétrole liquéfié d'une voiture GPL, le gaz oxyhydrogène (H₂+O₂) est produit au besoin. Le risque d'incendie est réduit car le tuyau de connexion est le seul « récipient » qui contient ce gaz. En outre, le gaz produit n'a qu'une sortie possible – la chambre de combustion du moteur.

Nous avons cherché un professionnel de décarbonisation en Suisse. Il se trouve qu'en 2014, Monsieur Nicolas Sahli^[11] a introduit ce système d'entretien du véhicule en Suisse. Nous avons contacté cette personne qui nous a mis en relation avec Monsieur Christophe Royer de l'entreprise HHO Green Tech.

La décarbonisation fonctionne aussi bien sur les véhicules à essence que diesel. Il est aussi valable pour les véhicules à carburateurs ou à injection.

En fonction du temps imparti et de la disponibilité des véhicules, nous avons décidé de faire les essais sur 3 véhicules à essence. Nous avons opté pour les véhicules suivants : Opel Rekord de 1970 (plus de 47 ans)^[12], BMW 320i de 1989 (plus de 27 ans)^[13] et Suzuki Alto de 2010 (plus de 7 ans)^[14]

Monsieur Hayyane Filali Mohammed nous a aidé à obtenir l'autorisation de la direction pour effectuer les tests dans le garage de l'école et celui de Monsieur Affolter Raphaël.^[15]



Figure 13 Bosch Waterboost System



Figure 14 Générateur de gaz oxyhydrogène.

[9] Turbines aéronautiques à hydrogène (AFHYAPAC) http://www.afhyapac.org/documents/tout-savoir/fiche_5.1.2_turbines_a_ronautiques_h2_avril_2013.pdf

[10] Gasoline systems. The Bosch WaterBoost system increases performance. (BOSCH, 2016) <http://videoportal.bosch-presse.de/en/clip/-/-/Performance-1#>

[11] Soigner son moteur pour préserver l'environnement (RTN) <https://www.rtn.ch/rtn/Actualites/Regionale/20140113-Soigner-son-moteur-pour-preserver-l-environnement.html>

[12] Voir § 10 Annexe Fiche technique du véhicule Figure 34 (page 24) et Figure 37 : Résultats des essais de pollution sur Opel Rekord de 1970. (page 26)

[13] Voir § 10 Annexe Fiche technique du véhicule Figure 36 (page 25)

[14] Voir § 10 Annexe Fiche technique du véhicule Figure 35 (page 24) et Figure 38 Résultats des essais de pollution sur Suzuki Alto 2010 (page 27)

L'école ne possédant qu'un appareil mesurant le taux de carbone, nous avons cherché un appareil mesurant les oxydes d'azote (NOx).

Monsieur Christophe Royer a mis à notre disposition un appareil de contrôle de pollution homologué et étalonné K Auto 7 KANE ^[16], étalonné jusqu'au 14.03.2018. L'appareil est validé par la norme CE (**Figure 15**)

Le 21 février 2018, nous avons préparé l'Opel Rekord 1970 à température de travail, nous avons parcouru le tronçon zones 1 et 2 dans son intégralité, ce qui correspond à 18.8km au total en parcours mixte. ^[17]

Tous les tests ont été effectués à chaud et au ralenti (les voitures à l'arrêt). Malheureusement, nous n'avions pas d'équipement adéquat pour faire les essais sur les véhicules en mouvement. (**Figure 16**, **Figure 17**)

Nous avons commencé les mesures par le plus vieux des véhicules, soit l'Opel Rekord qui date de 1970.



Figure 15 L'appareil de mesure K Auto 7 KANE

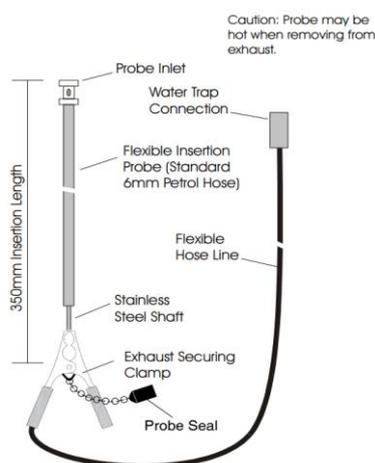


Figure 16 Sonde de mesure de concentration de taux de CO, CO2, NO et NOx

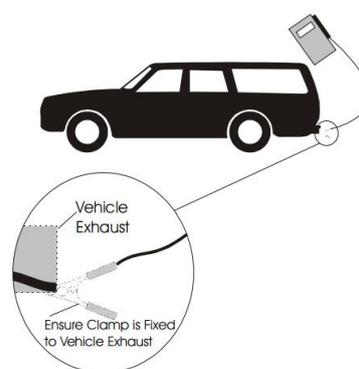


Figure 17 Sonde de mesure

L'appareil remplit le volume de gaz délimité par le câble. Il indique le pourcentage de dioxyde de carbone (CO2) dans le volume analysé. Il exprime la concentration de monoxyde de carbone (CO), de monoxyde d'azote (NO) et des oxydes d'azote (NOx) en partie par million (ppm). (**Figure 16**)

Nous avons retenu les mesures dont les valeurs étaient les plus stables. En effet, le volume de gaz à mesurer doit être rempli, ce qui provoque une oscillation des valeurs au début de la mesure.

Avant chaque mesure, nous avons nettoyé le conduit à l'air comprimé afin d'enlever toute condensation due au test précédent. La condensation élevée augmente la valeur des oxydes d'azote. L'affichage de la quantité des parties par million est limité à 20'000. Au-delà de ce chiffre, l'appareil affiche "OR", ce qui signifie, qu'il est hors tolérances.

Lorsque nous avons obtenu les premiers résultats, nous avons mis l'Opel Rekord en décarbonisation pendant 60 min. (**Figure 18**) Pendant ce temps, la Suzuki Alto a parcouru le même trajet (soit 18.8km). Nous avons effectué les essais de pollution sur cette dernière.

[15] Voir § 10 Annexe Figure 58 (page 35) et Figure 59 (page 36)

[16] Kane Automotive Gas Analyser Manual (Keison) <http://www.keison.co.uk/products/kanemay/AutoManual.pdf>

[17] Voir § 10 Annexe Figure 31 (page 23), Figure 32 (page 23)

Hydrogénez-moi!

La Suzuki Alto est âgée de plus de 7 ans et a parcouru 182 477 km. Les essais de pollutions ont montré que cette voiture n'émet pas d'oxydes d'azote et la quantité de monoxyde de carbone est faible. Cette voiture n'était pas décalaminée.

Nous avons préparé la BMW 320I de 1989 à sa température de travail en parcourant les 18.8 km.

Nous avons effectué les tests de pollution et mis la BMW 320I en décarbonisation avec le deuxième générateur de gaz d'oxyhydrogène (H₂+O₂). (Figure 19)^[18]

Après 60 minutes, nous avons refait les tests de pollution sur l'Opel Rekord et la BMW 320I.

Pour le vieux véhicule de 1970 (Opel Rekord), 60 min de décarbonisation n'était pas suffisant. En effet, les tests-T3 ont montré que le véhicule était encore trop polluant. Nous avons remis la décarbonisation à 40 minutes de plus.

Au début des essais, en plus de son âge, l'Opel Rekord perdait de l'huile et a un problème de frein à main. Les tests sur ce véhicule ont été effectués uniquement le 21 février 2018. A la suite de ces résultats, son propriétaire l'a repris pour faire la révision complète.

Le deuxième jour d'essais, le 7 mars 2018, nous avons parcouru avec la BMW 320I et la Suzuki Alto le trajet de la Zone 3^[19] (6.2 km à 80 km/h). Nous étions insatisfaits des résultats dès les premières mesures (T0-test). Nous avons supposé que nos véhicules n'avaient pas atteint leur température de travail.

Après avoir parcouru le trajet des Zone 2^[20] et 3, les véhicules ont retrouvés les valeurs identiques à celles relevées le 21 février 2018.

En effet, le parcours de 6.2 km à 80 km/h est insuffisant pour qu'une voiture atteigne la température de travail.

Les mesures du 7 mars ont confirmé l'efficacité de nos mesures du 21 février.



Figure 18 Décarbonisation sur l'Opel Rekord



Figure 19 Décarbonisation sur la BMW

[18] Voir § 10 Annexe Figure 39 Résultats des essais de pollution sur BMW 320I 1989 (page 28)

[19] Voir § 10 Annexe Figure 33 (page 24)

[20] Voir § 10 Annexe Figure 32 (page 23)

5 Calculs

5.1. Relevé des mesures

Opel Rekord 1970

Les gaz d'émissions relevés	Tests avant décarbonisation		Tests après décarbonisation		
	21.02.2018	21.02.2018	21.02.2018	21.02.2018	21.02.2018
	T1-test	T2-test	T3-test après 60min	T4-test après 100min	T5-test de validation
CO ₂ [%]	13.6	12.9	11.9	12.7	12.7
CO [ppm]	>20000	>20000	18843	13424	13556
NO [ppm]	125	126	142	110	104
Nox [ppm]	131	132	149	115	109

BMW 320I 1989

Les gaz d'émissions relevés	Tests avant décarbonisation		Tests après décarbonisation	
	07.03.2018	21.02.2018	21.02.2018	07.03.2018
	T0-test à froid	T1-test avant	T2-test après 60min	T3-test de validation
CO ₂ [%]	10.4	10.4	11.5	10.5
CO [ppm]	3965	12	112	6
NO [ppm]	45	12	5	0
Nox [ppm]	47	12	5	0

Suzuki 2010 (véhicule témoin)

Les gaz d'émissions relevés	Véhicule témoin			
	07.03.2018	21.02.2018	21.02.2018	07.03.2018
	T0-test à froid	T1-test	T2-test	T3-test de validation
CO ₂ [%]	13.6	14	14.1	14.1
CO [ppm]	76	158	97	12
NO [ppm]	69	0	0	0
Nox [ppm]	72	0	0	0

5.2. Graphiques et analyse

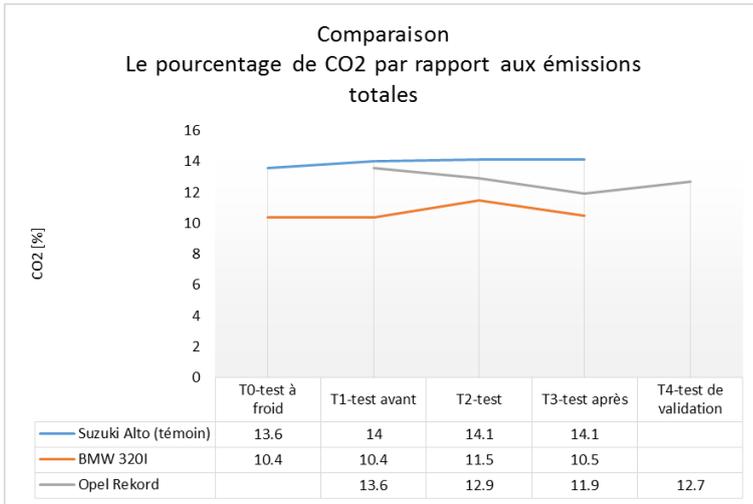


Figure 20 La variation du taux de dioxyde de carbone (CO₂) dans les véhicules.

Seuls la BMW 320I et l'Opel Rekord ont été décarbonisées

La Suzuki alto – véhicule témoin - n'a pas été décarbonisée.

La combustion des véhicules nettoyés (BMW 320I et Opel Rekord) a été modifiée. La courbe montre l'impact de la décarbonisation sur les véhicules. Dans le volume d'air mesuré, le taux de CO₂ varie pour les véhicules décarbonisés. La combustion du véhicule témoin est inchangée.

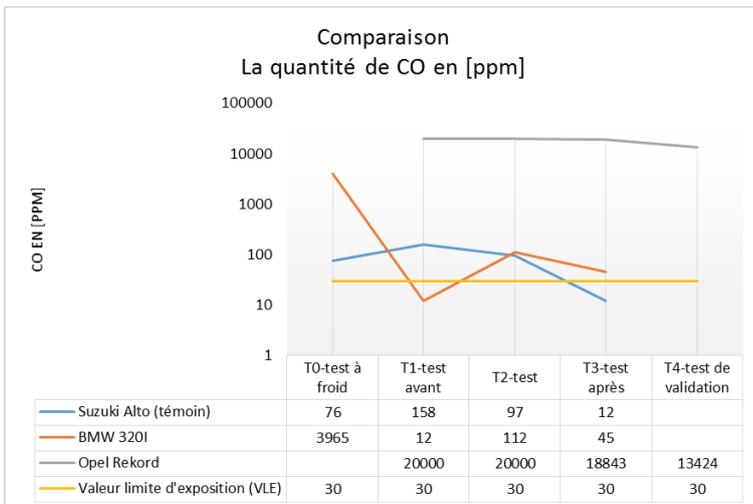


Figure 21 La variation du monoxyde de carbone (CO) en partie par million (ppm) pendant les essais.

Les relevés (T0) montrent qu'à froid les véhicules (BMW 320I et Suzuki Alto) polluent. Leurs relevés sont largement au-delà de la valeur limite d'exposition (VLE). Cette dernière est donnée par le réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL).

Lorsque le véhicule est chaud, sa pollution est réduite. Les valeurs prises lors du Test T3-test à chaud sont plus faibles que lors de la prise T0-test à froid

Nous avons constaté que la valeur de monoxyde de carbone varie fortement selon plusieurs paramètres :

- la température de travail du véhicule
- le temps de « repos » du véhicule après la conduite (les prises des essais ont été fait au ralenti)
- l'état du véhicule et son taux d'encrassement
- type d'injection
- s'il a un catalyseur et filtre à particule
- ...

Nos moyens de mesures ne nous permettent pas de faire des prélèvements plus précis, notamment de déterminer comment la quantité de monoxyde de carbone (CO) varie en fonction du mode de conduite du véhicule.

Dans l'Opel Rekord, le mélange d'air-essence est apporté par le carburateur. (Voir **Figure 52** dans l'annexe) Aujourd'hui ce système est obsolète. Le carburateur est remplacé par l'injecteur. Cette évolution technologique a permis de mieux doser la quantité de carburant et d'optimiser l'apport d'air dans le mélange.

En outre, tous les voitures modernes ont un catalyseur qui réduit drastiquement les émissions.

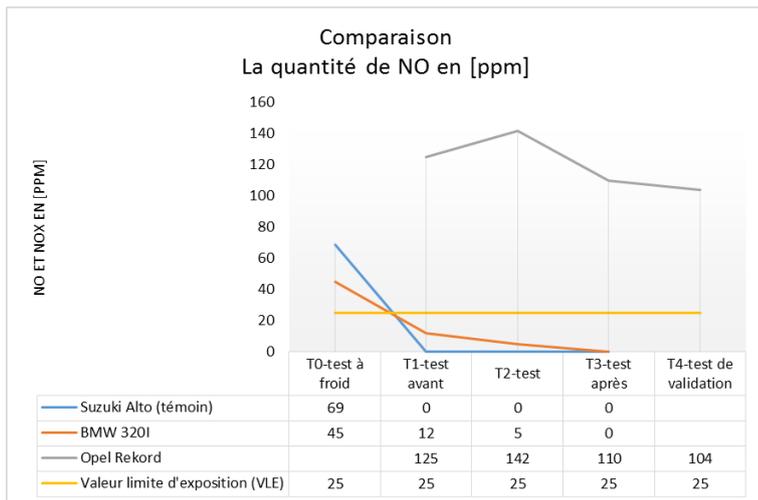


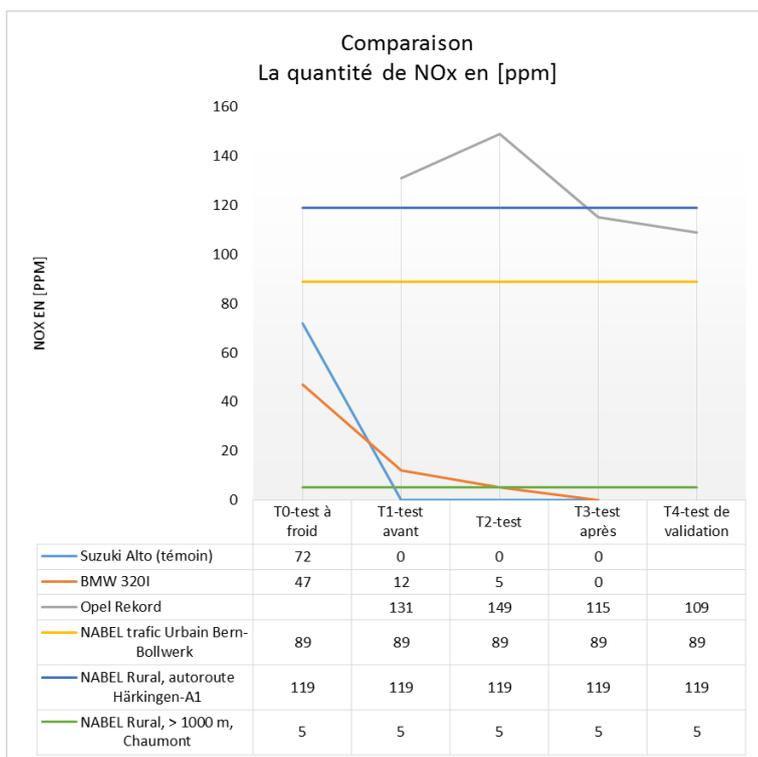
Figure 22 La variation du monoxyde d'azote (NO)
Figure 23 La variation des oxydes d'azote (NOx)
en partie par million (ppm) pendant les essais

Les mesures des émissions des oxydes d'azote sont les plus significatives. Nous avons comparé l'émission des monoxydes d'azote (NO) avec la valeur limite d'exposition donnée par le réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL). En revanche, nous n'avons pas trouvé de valeur limite d'exposition pour les oxydes d'azote (NOx) C'est pour cela, que nous comparons les émissions des véhicules avec les valeurs des autres types de trafics routiers.

L'émission des oxydes d'azote est directement dépendante de l'état thermique du véhicule. Nous pouvons constater que la Suzuki Alto (véhicule témoin), n'émet plus d'oxydes d'azote lorsque le véhicule est chaud.

L'Opel Rekord n'a pas de catalyseur. Nous pouvons constater que la décarbonisation a permis de réduire les émissions des oxydes d'azote en améliorant la combustion dans le moteur. (Test-4 après 100 minutes de décarbonisation).

BMW 320i possède un catalyseur et la décarbonisation a permis de réduire ses émissions en améliorant sa combustion et en augmentant la chaleur du pot d'échappement. Ses émissions se rapprochent du véhicule témoin (Suzuki Alto) (Test-3 après la décarbonisation)



5.3. Analyse du système

Le rapport stœchiométrique permet de définir la consommation efficace du carburant. Voir **Figure 24**

Le moteur est alimenté en carburant et en air. A la sortie du pot d'échappement, la sonde lambda permet de vérifier le taux de dioxygène contenu dans les gaz d'échappement.

Lorsque le conducteur double un autre véhicule, il demande au moteur une puissance supplémentaire. La valeur de la sonde lambda tend vers 0.86 (Pour 1 kg de carburant, 12.6 kg d'air sont consommés).

Lors d'une éco-conduite (vitesse régulière, freinage et accélération modérés) la valeur de la sonde lambda tend vers 1.05 (pour 1 kg de carburant, 15.4 kg d'air sont consommés).

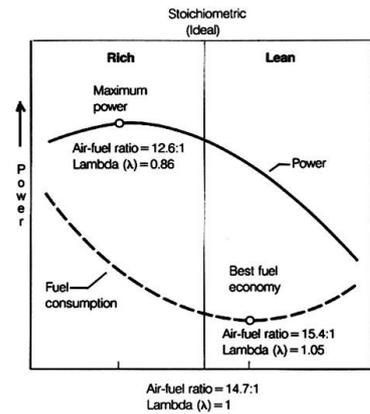


Figure 24
Représentation du rapport de combustion stœchiométrique idéal. Lors de l'éco-conduite pour 1kg d'essence, 15.4kg d'air sont utilisés.

consommation d'air en [kg]	Eco-conduite	Conduite dynamique
pour 1[kg] de carburant	15.4	12.6

Calcul pour déterminer l'économie du carburant en éco-conduite :

$$[1 - (15.4/12.6)] = 0.22$$

L'économie du carburant est de **22% en éco-conduite**

Voilà une mesure très astucieuse. Mais il y a un « hic ».

L'oxygène est la source de la respiration des êtres vivants (homme, plante, insecte) et du feu. Sans dioxygène (O₂), le feu s'éteint. Voir **Figure 25**.

Or l'air est composé à **78%** diazote (**N₂**) et de **21%** dioxygène (**O₂**).^[21]

	dioxygène O ₂	diazote N ₂
sur 15.4kg d'air, il y a :	3.2 [kg]	12 [kg]

Seul 3.2 kg de dioxygène (O₂) permettent une combustion dans le moteur thermique. Les 12 kg de diazote (N₂) sont transformés en oxydes d'azote.

Dilemme :

- plus la voiture consomme de carburant, plus elle pollue (hydrocarbures (HC), oxydes de carbone (CO et CO₂), oxydes d'azote (NO_x).
- Moins elle consomme de carburant plus elle pollue en émettant des oxydes d'azote (NO_x)

Solution

L'éco-conduite reste judicieuse, malgré la surproduction des oxydes d'azote (NO_x). La surconsommation de carburant a un impact sur l'environnement nettement plus significatif (extraire, acheminer, raffiner...).



Figure 25 Triangle de feu
Le feu se produit lorsque les trois paramètres sont présents :
- Combustible (carburant)
- Comburant (oxygène)
- Energie d'activation (étincelle)

[21] Air (Wikipedia, 2018)

Hydrogénez-moi!

Les solutions techniques pour réduire les émissions d'oxydes d'azote sont nombreuses :

Le pot catalytique

La première production date de 1973 et fut rendue obligatoire sur les véhicules dès 1990 ^[22].

Il permet de réduire le plus gros des émissions. Au démarrage, la température du pot catalytique est égale à l'air ambiant. Pour atteindre la température minimale de 400°C, il faudrait conduire 10 à 15 km. Cela signifie que pendant les 10 à 15 km la pollution est maximale. Or une voiture suisse parcourt en moyenne 18.5 km en aller simple. ^[23] La pollution est alors à son état maximal.

Ce dispositif seul, est insuffisant pour réduire la pollution du véhicule.

Filtre à particules (FAP)

La première production date de 2000 et fut rendue obligatoire sur les véhicules diesel dès 2011 et sur les véhicules essence dès 2015 (euro 6). Voir annexe **Figure 51** et **Figure 53**

Certes l'injection directe permet d'économiser du carburant et d'optimiser la combustion. Toutefois, il génère de fines particules cancérigènes pour l'homme. ^[24]

Comme pour le pot catalytique, le filtre à particule est efficace, seulement lorsqu'il atteint une certaine température de travail. Le véhicule doit périodiquement rouler sur l'autoroute à 3500tr/min et pendant 30 minutes.

Ce dispositif est insuffisant pour réduire la pollution du véhicule. Voir **Figure 26** et **Figure 27**

La vanne de la recirculation des gaz d'échappement (EGR)

voir annexe **Figure 50**

La première production date de 1970 et fut adoptée par les constructeurs européens en 1996.

L'injection de l'air est la principale source des oxydes d'azote (NOx). La vanne EGR permet de réduire l'apport d'azote en récupérant une partie des gaz d'échappement et la réinjecte dans le moteur.

Or pour une combustion optimale le moteur a besoin de dioxygène (O₂). Les gaz d'échappement contiennent de la suie et une quantité dioxygène insuffisante pour le bon rendement du moteur. La raréfaction de dioxygène (O₂) augmente la production des particules fines et la suie encrasse l'huile du moteur plus rapidement. L'ensemble de ces facteurs entraîne une surconsommation du carburant. Ce dispositif se colmate, son entretien est couteux et il est insuffisant pour réduire la pollution. Voir **Figure 28**

Apport d'oxyhydrogène (H₂+O₂)

La sonde lambda détecte le taux de dioxygène dans les gaz d'échappement. La décarbonisation apporte le gaz oxyhydrogène (H₂+O₂) sans apporter le diazote (N₂).

Les valeurs relevées (voir §5.1) montrent que l'apport de l'oxyhydrogène (H₂+O₂) permet de réduire les émissions des oxydes d'azote (NOx). (Voir également les graphiques §10 Annexe Opel Rekord **Figure 46**, BMW320I **Figure 47** (page 34) (Suzuki véhicule témoin **Figure 48**)



Figure 26 Filtre à particules



Figure 27 Filtre à particules bouché

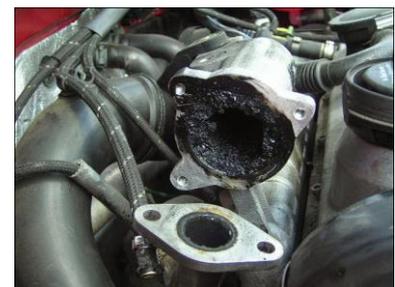


Figure 28 Vanne EGR colmatée

[22] Pot catalytique (Wikipedia, 2018)

[23] Distances parcourues par les véhicules suisses (Office fédéral du développement territorial (ARE), 2002) (page 30) 13469/365 jours = 37km par jour, 37/2 = 18.5km en aller. <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/1587.pdf>

[24] Filtre à particules (Wikipedia, 2017)

Depuis 40 ans, plusieurs recherches d'application du gaz oxyhydrogène (H₂+O₂) ont vu le jour. Deux ont retenu notre attention (voir également §9 Bibliographie pour d'autres recherches consultés.) :

En 1977, la NASA fit des recherches sur l'impact de l'hydrogène dans le moteur à explosion. ^[25]

En 2015, l'université d'Alexandrie fit une étude sur l'impact de l'oxyhydrogène (H₂+O₂) sur les performances d'un moteur à essence et ses émissions. ^[26]

Monsieur Christophe Royer nous a également fourni plusieurs documents. ^[27]

En analysant les recherches effectuées auparavant et nos valeurs mesurées, nous constatons que la décarbonisation fonctionne.

L'idéal serait d'installer un kit transportable qui génère le gaz d'oxyhydrogène (H₂+O₂) en continue. Il existe !

L'université d'Alexandrie arrive à la conclusion suivante :

- le kit HHO peut être facilement intégré dans les véhicules existants.
- L'efficacité du moteur thermique constaté a été augmentée de 10%
- L'économie du carburant dépend directement de la puissance du moteur. Si ce dispositif est installé sur les tracteurs, pelleteuse ou autre engin de grande consommation, l'économie de carburant sera plus importante.
- La concentration des oxydes d'azote (NO_x) a été réduite jusqu'à 15%
- La concentration de monoxyde de carbone (CO) a été réduite jusqu'à 18%
- La concentration des hydrocarbures (HC) a été réduite jusqu'à 14%



Figure 29 : Opel rekord avec une mauvaise combustion. Premier l'essai avant le décarbonisation. La formation de la brume d'eau et de gaz d'échappement

Si seulement 10% du parc automobile suisses (457'000 voitures) était équipé de ce système et que dans le pire des cas la réduction de la pollution et l'économie d'essence n'étaient que de 10%, alors la pollution réduite équivaldra à 45'700 véhicules en moins. ^[28]



Figure 30 Kit système HHO installé dans Volvo 940 de 1991. Tout ce qu'il faut c'est de la place. Le conducteur utilise ce système depuis 2 ans et sa voiture ne date pas de hier

[25] Emissions and total energy consumption of a multicylinder piston engine running on gasoline and hydrogen-gasoline mixture (National Aeronautics and space administration NASA, Mai 1977)
<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19770016170.pdf>

[26] Effect of hydroxy (HHO) gas addition on gasoline engine performance and emissions (Alexandria Engineering Journal, Reçu 8 juin 2015, révisé 14 octobre 2015, accepté le 28 octobre 2015)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016815001714>

[27] Voir Figure 54 (page 31) et Figure 54 (page 31)

[28] En 2017, l'Office fédéral de la statistique (OFS) a compté 4'570'823 véhicules. (4'570'823*0.12=45708 véhicules)

6 Rétrospective

Nous avons effectué les essais sur trois véhicules à essence avec un appareil de mesure mobile. Les essais ont été effectués au ralenti. Les relevés des valeurs valide la décarbonisation. Nous voulions réaliser ces tests comme sur un banc d'essais officiel^[29], malheureusement, l'équipement de l'école ne nous le permet pas. Nous sommes curieux de connaître les valeurs d'émission des véhicules lorsqu'ils sont en plein régime et sur diesel.

6.1. Prises de conscience

Les premières valeurs prélevées le 7 mars 2018 (T0-essais à froid), nous ont inquiété. Elles étaient anormalement hautes. Nous avons appris que la voiture à froid pollue énormément.

Nous avons appris que la décarbonisation dépend de chaque véhicule. Un véhicule âgé nécessite plus de temps qu'un véhicule récent. Sur l'Opel Rekord 100 minutes sont insuffisantes pour enlever toute la calamine accumulée sur 40 ans.

Ce projet redonne de la valeur à nos métiers et nous a motivé à faire des choix courageux. Nous avons appris que chaque geste quotidien a un impact écologique. Dorénavant, à chaque achat d'un objet quelconque, nous nous posons la question est-il nécessaire d'acheter cet objet ? Est-il nécessaire de prendre la voiture pour un trajet aussi court ?

Nous nous sommes rendu compte que le changement vient de l'intérieur de nous-même. Désormais, nous savons que nous avons le choix entre être spectateur ou acteur du changement. Nous partageons ce rapport et nos recherches avec notre entourage pour éveiller et protéger l'environnement.



Notre représentation du cycle de vie de la voiture en tenant compte de la pollution de l'air, des sols et de l'eau.

[29] Evolution de la législation suisse relative aux gaz d'échappement des véhicules à moteur et des machines (Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC, juin 2013)

7 Perspectives

Aujourd'hui le citoyen écoresponsable a l'opportunité de décarburer son véhicule trop vieux afin de réduire son impact écologique. Le propriétaire de l'Opel Rekord souhaite refaire la décarbonisation après la révision de son véhicule. Nous avons présenté notre rapport à la direction.

A long terme, l'installation d'un boîtier mobile (kit HHO) permettra de réduire la pollution et la consommation de manière significative.

Cependant, pour mettre en place ce dernier projet, plusieurs questions se posent :

- Est-ce qu'il ne faudrait pas avertir les citoyens des moyens de dépollution écologique du véhicule et de publier les résultats par l'intermédiaire de la presse ?
- Est-ce que le véhicule modifié avec ce kit HHO sera couvert par l'assurance ?
- Est-ce que les constructeurs pourront installer ce kit directement à l'achat du véhicule et ainsi maintenir la garantie ?
- Ne faudrait-il pas, à travers un texte légal, encourager la réparation et l'amélioration du véhicule dans le but écologique ? Nos voisins français ont **42 ans** d'avance sur nous :
 - « Arrêté du 26 février 1976 relatif aux dispositifs antipollution et aux dispositifs économiseurs de carburant destinés à être installés sur les véhicules en service. Version consolidée au 15 janvier 2018 »
<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006074341&dateTexte=20180115>
- N'est-ce pas la responsabilité des politiques de veiller à la sécurité de sa population, donc à la protection de l'environnement à grande échelle, soit au-delà des frontières helvétiques (Energie-grise et pollution chimique générées à la fabrication et l'élimination) ?
- Et pour ce faire, ne serait-ce pas le rôle des politiques d'instaurer l'obligation d'un décalaminage périodique des véhicules et de pose de kit HHO, afin d'améliorer et favoriser les véhicules existants plutôt que de pousser à consommer de nouveaux engins ?

**" Quand ils auront coupé le dernier arbre
Pollué le dernier ruisseau
Pêché le dernier poisson
Alors ils s'apercevront que l'argent
Ne se mange pas. "**

Sitting Bull (1830-1890) - Chef amérindien

8 Remerciements

Nous remercions à l'équipe SOLO Swiss SA et les ateliers Bush SA de nous avoir aidé dans nos recherches, et pour la relecture et correction du dossier.

Nous remercions à monsieur Gille Dana de nous présenter ce concours, à nos professeurs scolaires de la formation technique : monsieur Hayyane Filali Mohammed et monsieur Claude Gobat, à Madame Lise Choffat pour nous avoir aidé à comprendre les recherches en anglais, à Monsieur Lukas Keller pour nous avoir aidé à comprendre les recherches en allemand, à la direction scolaire de nous avoir aidé et permis de faire ces essais sur les véhicules, à monsieur Lucien Willemin de nous aider à comprendre l'énergie grise et la pollution chimique invisible, à monsieur Nicolas Sahli de nous avoir aidé et mis en contact avec monsieur Christophe Royer et l'entreprise HHO Green Tech, à nos proches qui nous ont encouragé.



La Chaussure Rouge | Prendre soin de la vie et le communiquer ensemble!

9 Bibliographie

9.1. Illustration

- Page de garde** Photo décarbonisateur - <http://www.hhogreentech.com/img/decarbonizer.jpg>
- Page de garde** image atome - <http://sf.co.ua/14/02/wallpaper-892711.jpg>
- Page de garde** Image Molécule - http://shmector.com/_ph/9/355225436.png
- Page de garde** Image Texture de fond - http://bgfons.com/uploads/pattern/pattern_texture1165.jpg
- Page de garde** Image voiture verte. - <https://thumbs.dreamstime.com/b/happy-car-17433409.jpg>
- Autres images** Drapeau Suisse - https://d1z1c2g2uiorau.cloudfront.net/561-large_default/drapeau-suisse-5075-cm.jpg
- Autres images** Logo HHO Green Tech - https://pbs.twimg.com/profile_images/419547706772561920/RsvNNaid_400x400.jpeg
- Autres images** Logo Volkswagen https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT3GrVoVdDkh4kEE_IGPZYzqMXBhTNRiZZ2k-AqGRbxqvRxZMGrQ
- Figure 1** **ICCT International Council on Clean Transportation Rapport 2015b.** Divergence des données TCS avec les valeurs de CO2 des constructeurs. (Figure 24) - septembre 2015. - https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LaboratoryToRoad_2015_Report_English.pdf
- Figure 2** Carricature saut à la perche - https://s3.amazonaws.com/lowres.cartoonstock.com/sport-track-track_sports-team-track_teams-race-ggm080528_low.jpg
- Figure 3** Carricature saut en hauteur - https://s3.amazonaws.com/lowres.cartoonstock.com/animals-drug_test-high_jump-high_jumpers-performance_enhancing_drugs-athletes-smb090212_low.jpg
- Figure 4** Kintsugi "jointure en or" - <https://fatherfarr.files.wordpress.com/2015/11/kintsugi.jpg>
- Figure 5** Châssis d'une voiture en alluminium - <http://www.fiches-auto.fr/sdoms/shiatsu/uploaded/types-chassis-voiture.jpg>
- Figure 6** Accident industriel, Hongrie 2010 - http://www.lepoint.fr/monde/une-maree-rouge-deferle-sur-la-hongrie-06-10-2010-1245775_24.php
- Figure 7** Le cycle de vie du véhicule - http://www.personal.psu.edu/vjv5029/EDESIGN%20PROJECT/clip_image001.png
- Figure 8** Voitures d'occasion européennes en Afrique <http://www.lomeinfos.com/wp-content/uploads/2018/01/voiture-occasion.jpg>
- Figure 9** Décharge géante des véhicules en Chine - http://img.over-blog-kiwi.com/1/04/43/04/20150514/ob_8a4e38_chine-voit1.jpg
- Figure 10** Autoroute - <http://www.eswinoujscie.pl/wp-content/uploads/2017/08/noc-samochody.jpg>
- Figure 11** Flux sanguin - <http://ak6.picdn.net/shutterstock/videos/12761696/thumb/1.jpg>
- Figure 12** Exposition en voiture Simone! - http://www.echallens21.ch/pubdocs/Photos/JDD2017/8_Portes_Voitures.jpg
- Figure 13** Bosch Waterboost - <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQXxtuxHoACG4j9oDvZZvZnVEQtf4L5TsCS7uzkhswj\VoG-6i7mg>
- Figure 14** Photo du générateur HHO prise le 21 février 2018
- Figure 15** Photo de l'appareil de mesure de pollution, prise le 21 février 2018

- Figure 16** Appareil de mesure K auto 7 KANE - <http://www.keison.co.uk/products/kanemay/AutoManual.pdf>
- Figure 17** Appareil de mesure K auto 7 KANE - <http://www.keison.co.uk/products/kanemay/AutoManual.pdf>
- Figure 18** Photo décarbonisation de l'Opel Rekord, prise le 21 février 2018
- Figure 19** Photo décarbonisation BMW, prise le 21 février 2018
- Figure 20** Représentation graphique des valeurs relevés comparaison : Pourcentage de CO2
- Figure 21** Représentation graphique des valeurs relevés comparaison : CO
- Figure 22** Représentation graphique des valeurs relevés comparaison : NO
- Figure 23** Représentation graphique des valeurs relevés comparaison : NOx
- Figure 24** Rapport Stoechiométrique idéal - <http://i53.tinypic.com/2ezsnxh.gif>
- Figure 25** Triangle de feu - <http://static.wikeo.be/files/17441/combustion-resume.jpg>
- Figure 26** Filtre à particules http://www.lafranceagricole.fr/ra/lowres/Publie/FA/p1/Images/Dossier/2009-03-24/06202_5.png
- Figure 27** Filtre à particules bouché <http://decalaminagemoteur.fr/img/portfolio/decalaminage+a+domicile+par+hydrogene+du+pot+catalytique+bouche+par+decrassage+moteur+depollution+par+hho+du+catalyseur+par+un+decalamineur.jpg>
- Figure 28** Vanne EGR colmaté <http://fred.labbe91.free.fr/EGR/egr2.jpg>
- Figure 29** Photo Opel Rekord, prise le 21 février 2018
- Figure 30** Photo prise sur Volvo 940 de 1991 avec le kit système HHO installé depuis 2 ans, le 28 février 2018
- Figure 31** Zone 1, Screenshot Google maps
- Figure 32** Zone 2, Screenshot Google maps
- Figure 33** Zone 3, Screenshot Google maps
- Figure 34** Photo Opel Rekord 1970, prise le 21 février 2018
- Figure 35** Photo Suzuki Alto 2010, prise le 21 février 2018
- Figure 36** Photo BMW 320I 1989, prise le 21 février 2018
- Figure 37** Scan des tickets de relevés de pollution de l'Opel Rekord
- Figure 38** Scan des tickets de relevés de pollution de la Suzuki Alto
- Figure 39** Scan des tickets de relevés de pollution de BWM 320I
- Figure 49** Relevés des différences entre les données du constructeur et des ADAC <https://www.rts.ch/emissions/abe/5681861.html/BINARY/Tableau%20comparatif%20des%20tests%20ADAC%20et%20des%20tests%20constructeurs>

Schémas du cycle de vie de la voiture page 18

- Flacon noir** https://openclipart.org/image/2400px/svg_to_png/169790/cybergedeon-water-pollution.png
- Voiture cassée** <https://cdn0.iconfinder.com/data/icons/insurance-4/500/car-512.png>
- Cercle** <https://healthitanalytics.com/images/site/articles/large/ThinkstockPhotos-622324340.jpg>
- recyclage** https://pbs.twimg.com/profile_images/669120685608841216/sTgwT2sf.jpg
- Excavateur** <https://creativemarket.com/DanteArt/2249757-HEAVY-EQUIPMENT/screenshots/#screenshot1>
- Voiture polluante** https://fr.pngtree.com/freepng/vector-car_1827260.html

- voiture neuve** <https://thumbs.dreamstime.com/z/co-emissions-vector-illustration-car-carbon-dioxide-emits-symbol-smog-pollution-concept-smoke-pollutant-damage-contamination-74097910.jpg>
- Tas de voitures** https://image.shutterstock.com/display_pic_with_logo/724561/578511499/stock-vector-damaged-car-pile-in-wrecking-yard-colorful-vector-background-isolated-on-white-578511499.jpg
- Usine polluante** <https://previews.123rf.com/images/margoorita/margoorita1412/margoorita141200034/34749852-air-pollution-plant-with-smoke-in-the-shape-of-the-skull-vector-illustration.jpg>
- Afrique** <https://cdn.vectorstock.com/i/thumb-large/68/33/africa-logo-vector-4296833.jpg>

9.2. Documentation

- Adilca Association** La combustion des carburants // Association pour la Diffusion d'Informations sur les Lois physiques de l'Automobile.. - 2018. - http://www.adilca.com/COMBUSTION_DES_CARBURANTS.pdf
- AFHYAPAC** Turbines aéronautiques à hydrogène . - http://www.afhyapac.org/documents/tout-savoir/fiche_5.1.2_turbines_a_nautiques_h2_avril_2013.pdf
- Alexandria Engineering Journal** Effect of hydroxy (HHO) gas addition on gasoline engine performance and emissions . - Reçu 8 juin 2015, révisé 14 octobre 2015, accepté le 28 octobre 2015. - <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016815001714>
- Arte** Les voiture de l'Europe en Afrique . - <http://afrique.arte.tv/wp-content/uploads/421.jpg>
- Arte** Planète Alu - Planète toxique . - 2013. - <https://www.youtube.com/watch?v=IGgR-BDkUfC>
- ATE Association transports et environnement** Le magazine des transports et de l'environnement . - Mai 2002. - http://www.ecomobiliste.ch/fileadmin/redaktion/Downloads_F/AUL02f.pdf
- BOSCH** Gasoline systems. The Bosch WaterBoost system increases performance. . - 2016. - <http://videoportal.bosch-presse.de/en/clip/ /-/-/Performance-1#>
- BOSCH** Sistema de inyección Waterboost de Bosch . - 3 février 2017. - <https://www.youtube.com/watch?v=7Fhws-T0B1g>
- Bulane** Dyomix - La flamme hydrogène nouvelle génération. . - 2018. - <http://www.bulane.fr/wp-content/uploads/2016/11/Plaque-Dyomix-VF.pdf>
- Cash investigation** Cash investigation - Les secrets inavouables de nos téléphones portables / intégrale . - 21 juillet 2015. - <https://www.youtube.com/watch?v=w2PZQ-XprQU>
- Delestrac, D., & Arte** Le sable: enquête sur une disparition . - 2013. - <https://www.youtube.com/watch?v=2XOqU9ixKcw>
- DETEC; Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication** Evolution de la législation suisse relative aux gaz d'échappement des véhicules à moteur et des machines . - juin 2013. - https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/luft/fachinfo-daten/entwicklung_der_schweizerischengesetzgebungimbereichderabgasemis.pdf.download.pdf/evolution_de_la_legislationsuisserelativeauxgazdechappementdesve.pdf
- European Journal of Advances in Engineering and Technology** HHO Generator – An Approach to Increase Fuel Efficiency in spark ignition engines . - 2015. - <http://www.ejaet.com/PDF/2-4/EJAET-2-4-1-7.pdf>
- Exposition Ville de Morges avec la participation de Lucien Willemin** Expositions de la Ville de Morges: Pièces détachées L'énergie grise dans la mobilité . - 2014. - <https://www.morges.ch/vivre-a-morges/developpement-durable/energie/expositions-de-la-ville-de-morges-8594>
- France info** Chine : de monstrueux cimetières de voitures suscitent l'effroi . - 12 Mai 2015. - https://www.francetvinfo.fr/monde/chine/chine-de-monstrueux-cimetieres-de-voitures-suscitent-l-effroi_901661.html

- Haentjens Christian** Air et essence : un mélange explosif! // L'automobile. - 01 10 2004. - <https://www.lautomobile.ca/features/air-et-essence-un-m-lange-explosif/>
- HHO Green Tech** Information . - 2013. - <http://www.hhogreentech.ch/informations.html>
- HHO Green Tech** Swiss Energy Tour . - http://www.swissenergytour.ch/data/web/swissenergytour.ch/uploads//videos/HHO_Efficiency.mp4
- Hydrox Systems** . - <http://hydroxsystems.com/>
- ICCT International Council on Clean Transportation** From Laboratory to road: A 2015 update of official and "real-world" . - septembre 2015. - https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LaboratoryToRoad_2015_Report_English.pdf
- International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology** Performance and emission characteristics of brown's gas enriched air in spark ignition engine . - 2 février 2013. - <http://www.rroij.com/open-access/performance-and-emission-characteristics-of-browns-gas-enriched-air-in-spark-ignition-engine.pdf>
- International journal of research in engineering and technology** Application of dry cell HHO Gas generator with pulse width modulation on Sinjai spark ignition engine performance. . - Février 2016. - <http://esatjournals.net/ijret/2016v05/i02/IJRET20160502019.pdf>
- International journal of technology enhancements and emerging engineering research** Improving The Efficiency Of I.C. Engine Using Secondary Fuel . - 2014. - <http://www.iiteee.org/final-print/june2014/Improving-The-Efficiency-Of-Ic-Engine-Using-Secondary-Fuel.pdf>
- International Organization of Motor Vehicle Manufacturers OICA** Production Statistics . - 2018. - <http://www.oica.net/category/production-statistics/2017-statistics/>
- Journal of Scientific & Industrial Research** Improving Performance of compressed natural gas fueled passenger passenger car engine by addition of hydrogen. . - Reçu le 06 octobre 2016, révisé le 05 juin 2017, accepté le 07 octobre 2017. - <http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/43307/1/JSIR%2077%281%29%2061-65.pdf>
- Keison Kane** Automotive Gas Analyser Manual . - <http://www.keison.co.uk/products/kanemay/AutoManual.pdf>
- Larousse Encyclopédie** // Définition - Combustion. - <http://www.larousse.fr/encyclopedie/rechercher?q=combustion>
- L'Assemblée fédérale de la Confédération Suisse** // Loi fédérale sur la réduction des émissions de CO2 (Loi sur le CO2). - 23 décembre 2011 (Etat le 1 er janvier 2018). - <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/20091310/201301010000/641.71.pdf>
- Le Conseil fédéral suisse** Ordonnance concernant les exigences techniques requises pour les véhicules routiers (OETV) . - du 19 juin 1995 (Etat le 1er juillet 2017) . - <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19950165/201707010000/741.41.pdf>
- Le monde** La pollution de l'air cause encore plus de 500 000 morts par an en Europe. . - 12 octobre 2017. - http://www.lemonde.fr/pollution/article/2017/10/11/la-pollution-de-l-air-cause-encore-plus-de-500-000-morts-par-an-en-europe_5199226_1652666.html
- Le monde** Le fléau de la pollution des rivières chinoises . - 12 mars 2013. - <http://ecologie.blog.lemonde.fr/2013/03/12/le-fleau-de-la-pollution-des-rivieres-chinoises/>
- Le Point international** Une marée rouge déferle sur la Hongrie . - 8 octobre 2010. - http://www.lepoint.fr/monde/une-maree-rouge-deferle-sur-la-hongrie-06-10-2010-1245775_24.php
- Le Temps** La voiture électrique est une aberration . - 28 Avril 2011. - <https://www.letemps.ch/lifestyle/2011/04/28/voiture-electrique-une-aberration>
- Légifrance** Arrêté du 26 février 1976 relatif aux dispositifs antipollution et aux dispositifs économiseurs de carburant destinés à être installés sur les véhicules en service. . - Version consolidée au 15 janvier 2018. - <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006074341&dateTexte=20180115>

- Lucien Willemin** En voiture Simone! Comprendre l'Energie grise . - Edition G'Encre 2013.
- Lucien Willemin** Fonce Alphonse! Croissance, décroissance: sortons de l'impasse . - Edition G'Encre 2015.
- Magazine Auto Plus N°1496** Une technologie expliquée: L'injection directe . - Paru le 5 mai 2017 .
- Magazine Auto Plus N°1499** Une technologie expliquée: Le filtre à particules . - Paru le 26.05.2017 .
- Magazine Auto Plus N°1501** Une technologie expliquée La vanne EGR . - Paru le 09 juin 2017 .
- National Aeronautics and space administration NASA** Emissions and total energy consumption of a multicylinder piston engine running on gasoline and hydrogen-gasoline mixture . - Mai 1977. - <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19770016170.pdf>
- OFEN Office fédéral de l'énergie** Les voitures neuves consomment en moyenne 5,79 litres aux 100 kilomètres . - 12.06.2017. - <http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=fr&msg-id=66996>
- OFEN Office fédéral de l'énergie** Statistiques des motorisations alternatives des voitures neuves. . - 21 Septembre 2017. - <http://www.bfe.admin.ch/energieetikette/00886/06772/index.html?lang=fr>
- OFEN; DETEC** Effets des prescriptions relatives aux émissions de CO2 pour les voitures de tourisme entre 2012 et 2015 / éd. Département fédéral de l'environnement des transports, de l'énergie et de la communication DETEC. - 2016. - <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/46866.pdf>
- OFEV Office fédéral de l'environnement** Climat: En bref . - 08 janvier 2016. - <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/en-bref.html#accordion1516661015605>
- OFEV Office fédéral de l'environnement** Tableau de la pollution actuelle NABEL . - 8.03.2018. - <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/etat/donnees/pollution-atmospherique--donnees-actuelles/tableau-de-la-pollution-actuelle-nabel.html>
- Office fédéral du développement territorial (ARE)** Distances parcourues par les véhicules suisses . - 2002. - <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/1587.pdf>
- OFS Office fédéral de la statistique** Véhicules routiers – parc, taux de motorisation . - 2018. - <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/mobilite-transport/infrastructures-transport-vehicules/vehicules/vehicules-routiers-parc-taux-motorisation.html>
- OFS Office fédéral de la statistique** Véhicules . - 2017. - <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/mobilite-transport/infrastructures-transport-vehicules/vehicules.html>
- Organe consultatif sur les changements climatiques** Conférence de presse: Une baisse du prix du Diesel est-elle utile à l'environnement? . - Berne, le 22 août 2002. - http://www.occ.ch/products/diesel02/Diesel02-Bach_F.pdf
- Pièces à conviction** Déchets: scandales et gros profits . - 2014. - <https://www.youtube.com/watch?v=bs8twzduwes>
- Ronneau Claude** Énergie, pollution de l'air et développement durable = Energie, pollution de l'air et développement durable // OpenEdition Books / éd. DUC Presse universitaires de Louvain. - <http://books.openedition.org/pucl/624?lang=en>
- RTN** Soigner son moteur pour préserver l'environnement . - 13 janvier 2014. - <https://www.rtn.ch/rtn/Actualites/Regionale/20140113-Soigner-son-moteur-pour-preserver-l-environnement.html>
- RTS** A bonne entendre: Caisse à la casse: qui passe à la caisse? - Marketing: qu'est-ce que l'effet lock in? . - 25 mars 2003. - <http://pages.rts.ch/emissions/abe/396428-caisse-a-la-casse-qui-passe-a-la-caisse-marketing-qu-est-ce-que-l-effet-lock-in.html>
- RTS** Abonne entendre: Voitures, carburant et CO2: ce que les constructeurs ne vous disent pas. . - 11 mars 2014. - <https://pages.rts.ch/emissions/abe/5566079-voitures-carburant-et-co2-ce-que-les-constructeurs-ne-vous-disent-pas.html#5566081>
- RTS** Alerte au mercure ! Un scandale valaisan . - 11 septembre 2014. - <https://www.rts.ch/play/tv/temps-present/video/alerte-au-mercure--un-scandale-valaisan?id=6136840&station=a9e7621504c6959e35c3ecbe7f6bed0446cdf8da>

- RTS** La Chine ne veut plus être la poubelle du monde . - 20 août 2017. - <https://www.rts.ch/info/sciences-tech/environnement/8810517-la-chine-ne-veut-plus-etre-la-poubelle-du-monde.html>
- RTS** Marseille, la face cachée des Calanques . - 04 octobre 2014. - <https://www.rts.ch/play/radio/prise-de-terre/audio/marseille-la-face-cachee-des-calanques?id=6159511&station=a9e7621504c6959e35c3ecbe7f6bed0446cdf8da>
- RTS** Temps présent: Comment mon auto a échappé à la casse . - L'émission du 15 mars 2018. - <https://pages.rts.ch/emissions/temps-present/9292673-comment-mon-auto-a-echappe-a-la-casse.html#9292675>
- SOLO Swiss** Traitement Thermique: « Introduction à la techniques des atmosphères » C. Béguin, Dr. ing. Ingénieur conseil SOLO Fours industriels, Bienne (Suisse) . - 1990.
- Stiftung-Autorecycling Schweiz** . - <http://www.stiftung-autorecycling.ch/fr>
- Swiss Energy Efficiency** HHO Green Tech "L'efficience au sens propre!" . - 2012. - http://www.swiss-energy-efficiency.ch/?page_id=2794&lang=fr
- The Guardian** Growing stocks of unsold cars around the world . - 16 janvier 2009. - <https://www.theguardian.com/business/gallery/2009/jan/16/unsold-cars>
- Tribune de Genève** Plus de 3000 Suisses meurent à cause de la pollution de l'air . - 10 mars 2015. - <https://www.tdg.ch/suisse/3000-suisses-meurent--cause-pollution-air/story/14411853>
- Université de Pau et des Pays de l'Adour** Impacts des transports routiers à proximité des routes et autoroutes . - https://web.univ-pau.fr/RECHERCHE/SET/Auteurs/Deletraz/E_Art_2.PDF
- University of Southern Queensland Rick Cameron** Effects of On-board HHO and Water injection in a Diesel Generator . - Octobre 2012. - <https://core.ac.uk/download/pdf/11050230.pdf>
- L'usine nouvelle** Le RoboBee peut voler, nager et décoller depuis la surface de l'eau, 31 octobre 2017 <https://www.usinenouvelle.com/article/l-industrie-c-est-fou-le-robobee-peut-voler-nager-et-decoller-depuis-la-surface-de-l-eau.N607868>
- Wikipedia** Filtre à particules . - 2017. - https://fr.wikipedia.org/wiki/Filtre_%C3%A0_particules
- Wikipedia** Recirculation des gaz d'échappement . - 2018 . - https://fr.wikipedia.org/wiki/Recirculation_des_gaz_d%27%C3%A9chappement
- Wikipedia** Air . - 2018. - <https://fr.wikipedia.org/wiki/Air>
- Wikipédia** Hydrocarbure . - 20 février 2018. - <https://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrocarbure>
- Wikipedia** Pot catalytique . - 2018 . - https://en.wikipedia.org/wiki/Catalytic_converter

10 Annexes

10.1. Zones des parcours

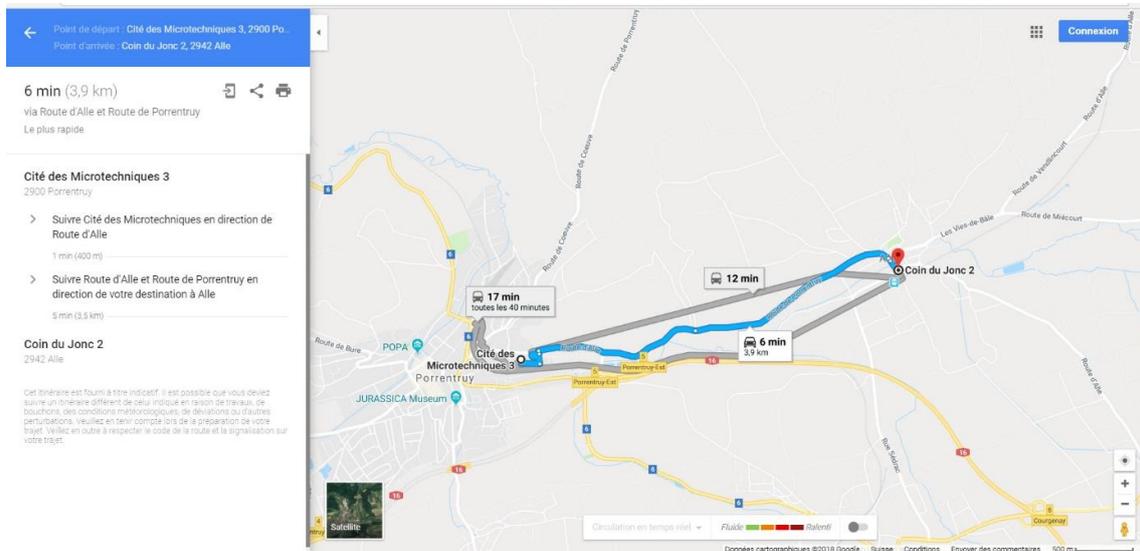


Figure 31 Zone 1 Le parcours du véhicule commence devant la salle de sport de cité des microtechniques 3 et arrive jusqu'au giratoire d'Alle (Coin du Jonc 2). Parcours en zone mixte (50km/h, 60km/h et 80km/h). Longueur du tronçon 7.8km au total et dure environ 12 min. (3.9km en aller)

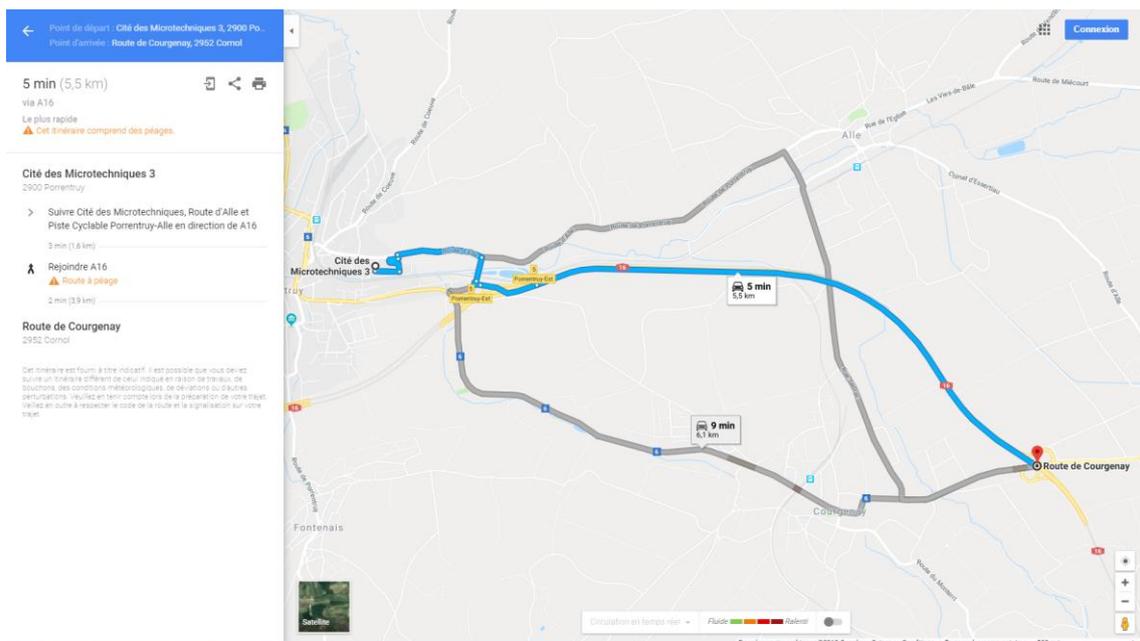


Figure 32 Zone 2 Le parcours du véhicule commence devant la salle de sport de cité des microtechniques 3, jusqu'à giratoire Route de Courgenay. Parcours mixte (50km/h, 60km/h, sur l'autoroute à 120km/h). Longueur du tronçon 11km au total (soit 5.5 en aller) et dure 10 min

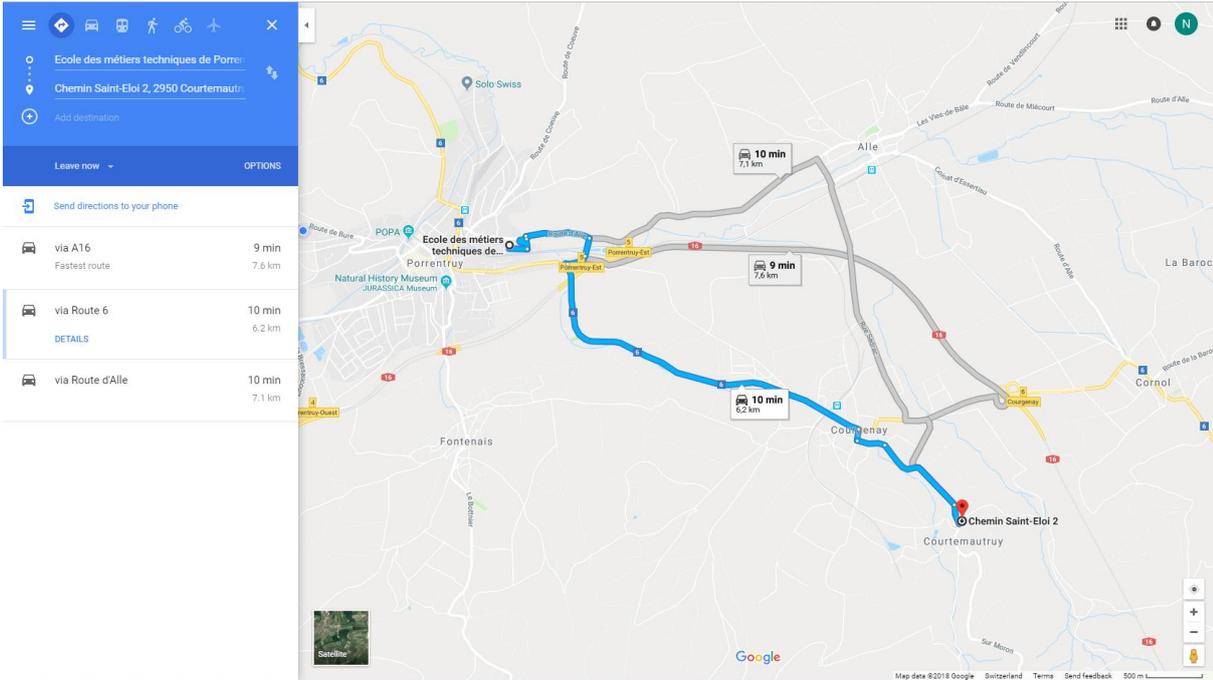


Figure 33 Le parcours du véhicule commence devant la salle de sport de cité des microtechniques 3, jusqu'au garage d'Affolter Raphaël (chemin Saint-Eloi 2, 2950 Courtemaury) Parcours en zone mixte (50-80km/h) Longueur du tronçon 12.4km au total (soit 6.2 en aller) et dure 20min

10.2. Fiches techniques des véhicules



Figure 34 Fiche technique du véhicule

Opel Rekord	21.08.1970
	(>47ans)
Kilométrage	inconnu
Type de motorisation	essence (carburateur)
Cylindrée	1897cm3
Durée de la décarburation	60min + 40min supplémentaires



Figure 35 Fiche technique du véhicule

Suzuki Alto 1.0	08.06.2010 (>7 ans)
Kilométrage	182 477
Type de motorisation	essence (injecteurs)
Cylindrée	996cm3
Durée de la décarburation	pas nécessaire



Figure 36 Fiche technique du véhicule

BMW 320i	01.11.1989 (plus de 27 ans)
Kilométrage	232 469 km
Type de motorisation	essence (injecteurs)
Cylindrée	1990cm ³
Durée de la décarburation	60min

10.3. Relevés des essais de pollution



Figure 37 : Résultats des essais de pollution sur Opel Rekord de 1970.

2/3

Suzuki Alto 1.0 08.06.2010
Essence, injecteur, 996 cm³, 192 477 km

AUTO SERIES 7
V1.04
HHO Green Tech
Switzerland
SERIALNO 090216328
DATE 21/02/18
HEURE 14:58:58
INAT VEHICULE [redacted]
RESULTATS

CO2 % 14,0
CO PPM 158
NO PPM 0
NOX PPM 0

AUTO SERIES 7
V1.04
HHO Green Tech
Switzerland
SERIALNO 090216328
DATE 21/02/18
HEURE 15:01:37
INAT VEHICULE [redacted]
RESULTATS

CO2 % 14,1
CO PPM 97
NO PPM 0
NOX PPM 0

AUTO SERIES 7
V1.04
HHO Green Tech
Switzerland
SERIALNO 090216328
DATE 07/03/18
HEURE 14:04:02
INAT VEHICULE [redacted]
RESULTATS

CO2 % 13,6
CO PPM 76
NO PPM 63
NOX PPM 72

AUTO SERIES 7
V1.04
HHO Green Tech
Switzerland
SERIALNO 090216328
DATE 07/03/18
HEURE 14:41:25
INAT VEHICULE [redacted]
RESULTATS

CO2 % 14,1
CO PPM 12
NO PPM 0
NOX PPM 0

Figure 38 Résultats des essais de pollution sur Suzuki Alto 2010

3/3

BMW 320I 01.11.1989

Essence, injecteur, 1990cm³, 232 469 km

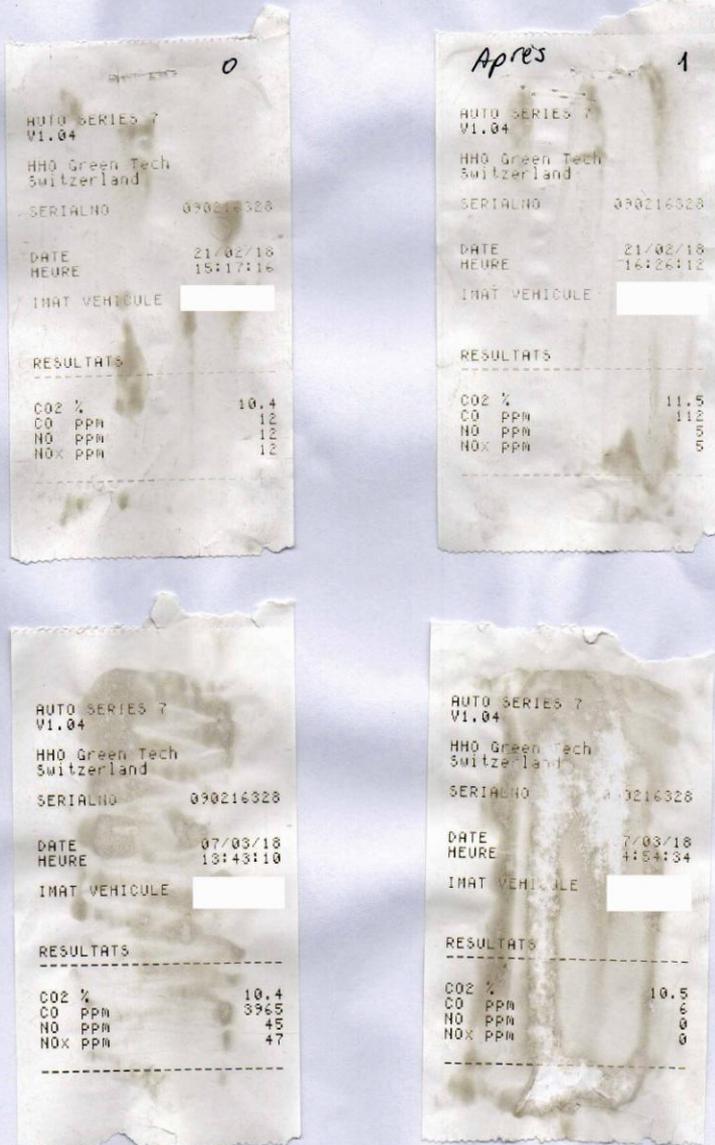


Figure 39 Résultats des essais de pollution sur BMW 320I 1989

10.4. Graphiques des valeurs relevées

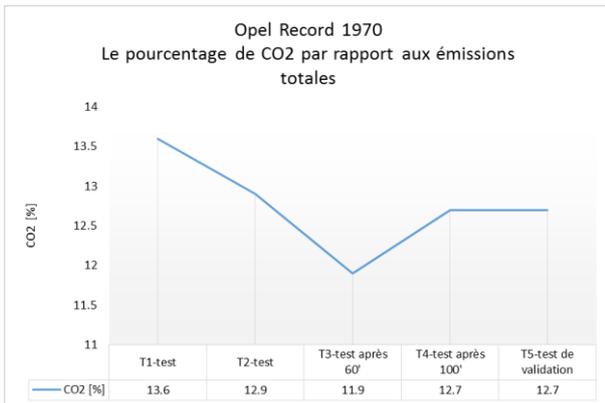


Figure 40

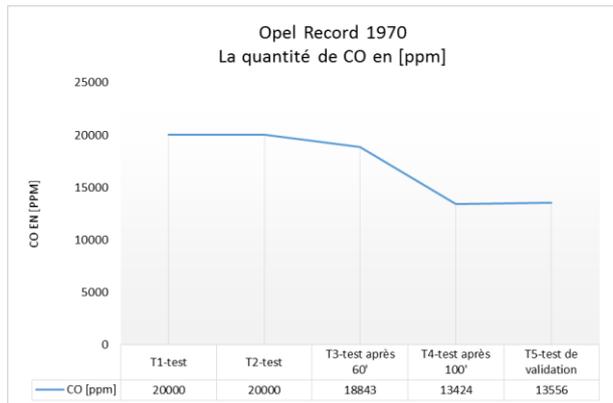


Figure 41

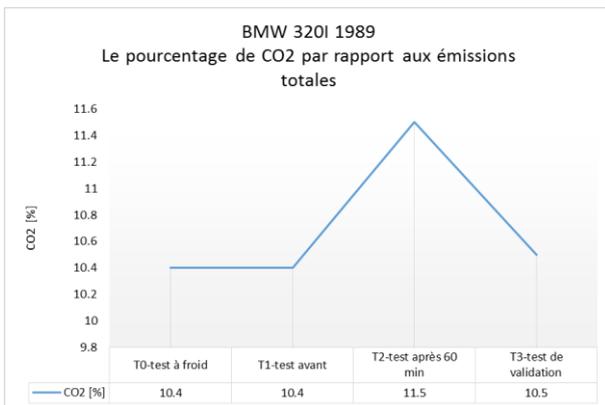


Figure 42

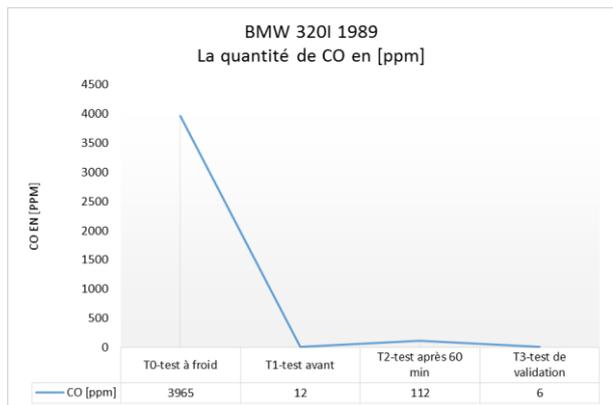


Figure 43

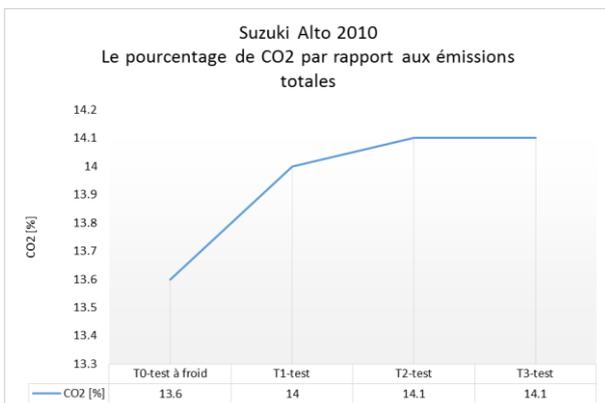


Figure 44

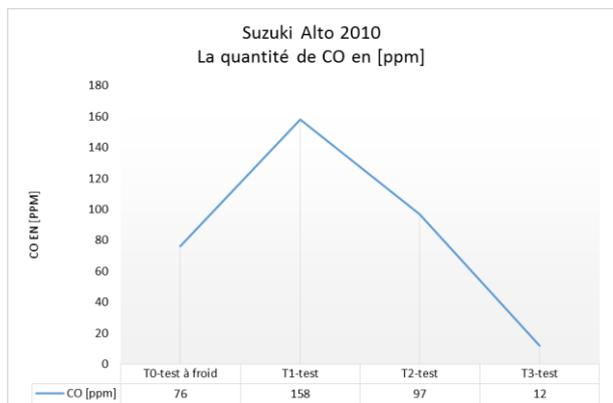


Figure 45

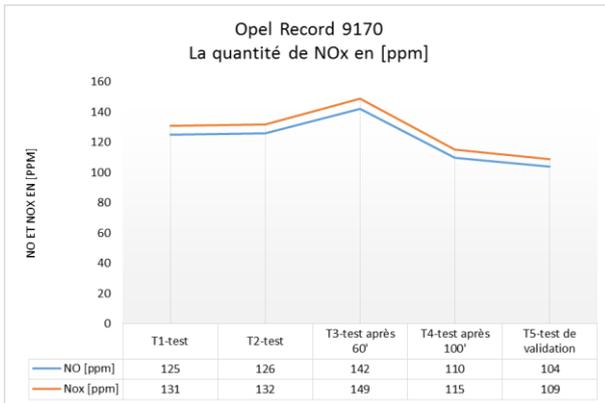


Figure 46

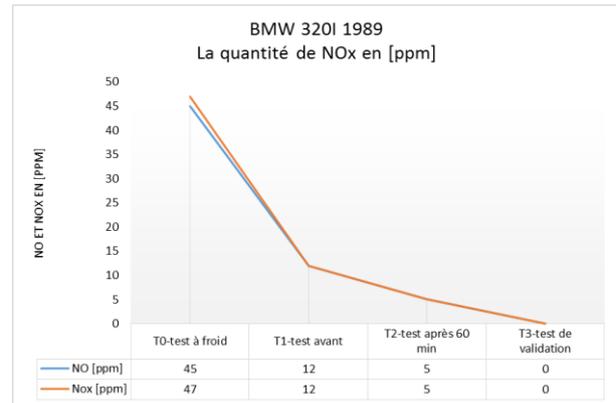


Figure 47

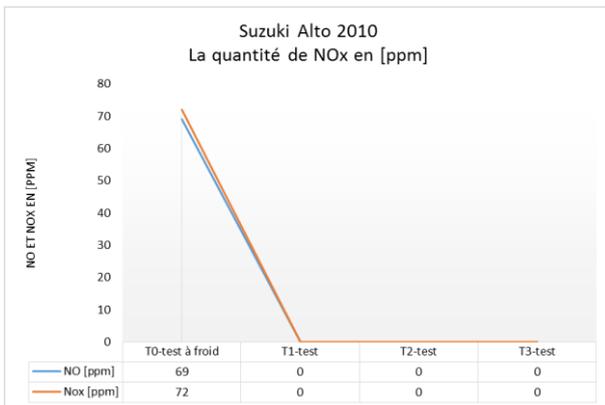


Figure 48

10.5. Autres données

Modèles de voitures de tourisme parmi les plus vendus en Suisse (mises en circulation durant 2013): comparaison de consommation moyenne de carburant et émissions de CO2

N°	Marque	Modèle	Type	Puissance kW	Cylindrée	Consommation Constructeur (l/100km)	Consommation ADAC (l/100 km)	Diff. En %	Emissions CO2 constructeur (g/km)	Emissions CO2 ADAC (g/km)	Diff. En %	Date du test ADAC
1	Toyota	Auris Touring Sports 1.8 Hybrid Executive	Hybride	100	1798 ccm	3.7	4.96	34.05	85	138	62.35	sept.13
2	Renault	Clio Grandtour Energy dCi 90 Start&Stop	Diesel	66	1461 ccm	3.6	4.52	25.55	95	145	52.63	mai.13
3	Peugeot	208 68 Vti Active	Essence	50	999 ccm	4.3	5.35	24.41	99	145	46.46	mars.13
4	Hyundai	i20 1.2 Trend	Essence	63	1248 ccm	4.9	6.09	24.29	114	162	42.10	janv.13
5	Ford	Fiesta 1.0 EcoBoost Start&Stop Titanium	Essence	74	998 ccm	4.3	5.02	16.74	99	139	40.40	janv.13
6	Fiat	500L Trekking 1.6 Multijet 16V Start&Stop	Diesel	77	1598 ccm	4.7	5.35	13.83	122	171	40.16	nov.13
7	BMW	318d Gran Turismo Automatic (DPF)	Diesel	105	1995 ccm	4.8	5.52	15.00	127	176	38.58	juin.13
8	Suzuki	SX4 S-Cross 1.6 DDiS Comfort+ 4x4 (DPF)	Essence	88	1598 ccm	4.4	4.86	10.45	114	156	36.84	nov.13
9	Ford	Kuga 2.0 TDCI Titanium 4x4 (DPF)	Diesel	103	1997 ccm	5.9	6.57	11.36	154	210	36.36	juin.13
10	Audi	A4 2.0 TDI Ambition (DPF)	Diesel	130	1968 ccm	4.6	5.09	10.65	120	163	35.83	oct.13
11	Mercedes	A-180 Urban	Essence	90	1595 ccm	5.5	6.11	11.09	128	170	32.81	mars.13
12	Land Rover	Range Rover 4.4 SDV8 Vogue Automatik (DPF)	Diesel	250	4367 ccm	8.7	9.47	8.85	229	304	32.75	avr.13
13	VW	Passat Alltrack 2.0 TDI BMT 4MOTION	Diesel	130	1968 ccm	5.9	6.35	7.63	155	204	31.61	sept.13
14	Audi	Q3 2.0 TFSI quattro S tronic	Essence	155	1984 ccm	7.7	8.46	9.87	179	232	29.61	juil.13
15	Skoda	Octavia Combi 1.4 TSI Green Tec	Essence	103	1395 ccm	5.3	5.74	8.30	121	156	28.93	juil.13
16	VW	Golf 1.4 TSI BMT Highline	Essence	90	1395 ccm	5.2	5.49	5.57	120	154	28.33	mars.13
17	Mini	Cooper S Paceman	Essence	135	1598 ccm	6.1	6.62	8.52	143	183	27.97	mai.13
18	Renault	Grand Scénic Energy dCi 130 Start&Stop Bose	Diesel	96	1598 ccm	4.5	4.56	1.33	116	146	25.86	août.13
19	Honda	Jazz 1.4 Exclusive	Essence	73	1339 ccm	5.6	5.91	5.54	129	162	25.58	déc.13
20	Opel	Astra 1.4 Turbo ecoFlex Start&Stop Edition	Essence	88	1364 ccm	5.5	5.88	6.91	129	161	24.81	mars.13
21	Seat	Leon 1.4 TSI Ecomotive FR	Essence	90	1395 ccm	5.2	5.36	3.08	120	149	24.17	mars.13
22	Mercedes	CLA-180	Essence	90	1595 ccm	5.6	5.74	2.50	130	160	23.08	juin.13
Moyennes								12.07			34.87	

EN JAUNE: EN DESSOUS DE LA MOYENNE

EN ROUGE: AU DESSUS DE LA MOYENNE

Figure 49 Relevés des différences entre les données du constructeur et des ADAC

10.6. Articles de presse

UNE TECHNOLOGIE EXPLIQUÉE

La vanne EGR

En général, vous n'en entendez parler que lorsqu'elle tombe en panne! Mais voyons à quoi peut bien servir cette fameuse vanne EGR...

Comment ça marche

Les moteurs, diesels en particulier, ont un problème: ils émettent des oxydes d'azote (NOx), néfastes pour la santé. Ces NOx sont des produits annexes de la combustion du carburant. Ils résultent de la réaction entre l'oxygène et l'azote de l'air soumis aux hautes températures régnant dans les cylindres. Pour réduire ces émissions, on utilise la recirculation des gaz d'échappement (EGR en anglais, pour "exhaust gas recirculation"). En réinjectant ces gaz brûlés (refroidis au préalable) dans les cylindres, on abaisse la température de combustion, ce qui permet de produire moins de NOx. C'est la vanne EGR qui pilote cette recirculation en fonction des besoins.

La vanne EGR aide à dépolluer les moteurs, notamment les diesels.

A l'usage

Mais la vanne EGR a une faiblesse: comme elle est soumise à des gaz d'échappement chargés en suies, elle a tendance à s'encrasser, et peut finir par se bloquer. Il devient alors nécessaire de la nettoyer, voire de la remplacer purement et simplement. Une opération qui peut coûter jusqu'à 1 200 €!

Admission
Vanne EGR
Echappement
Moteur

ISSYZONE

DR

N° 1501 - 09.06.2017 41 Auto Plus

Figure 50 Magazine Auto Plus N°1501, paru le 09 juin 2017

UNE TECHNOLOGIE EXPLIQUÉE

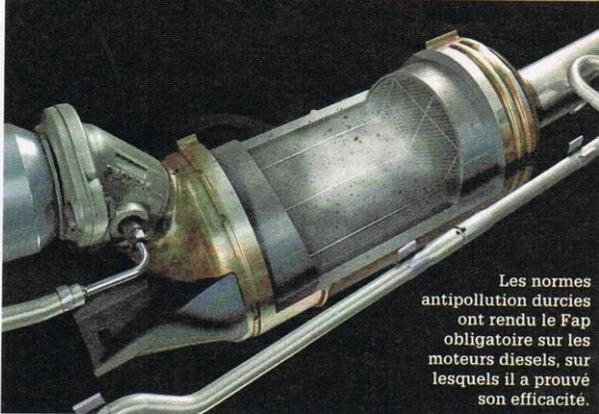
Le filtre à particules

Le filtre à particules (Fap) est incontournable sur les diesels et va bientôt débarquer sur les essence. Voyons son fonctionnement.

Comment ça marche
 Installé entre le catalyseur et le silencieux, le Fap contient une cartouche en céramique à structure en nid-d'abeilles qui retient les particules en suspension dans les gaz d'échappement. Au bout d'un certain temps (tous les 300 à 1 000 km), le Fap est "régénéré" pour éviter qu'il ne se colmate: du carburant est injecté dans l'échappement afin d'augmenter la température des gaz pour brûler les suies entreposées dans le Fap. Les diesels PSA utilisent en outre un additif (la cérine) qui abaisse cette température de régénération.

A l'usage
 Pour déclencher la régénération, le moteur doit tourner à un régime assez élevé pendant plusieurs minutes. Un cas de figure rare sur les diesels roulant essentiellement en ville: le Fap peut alors se boucher, et doit être remplacé (de 400 à 500 €). Sur les futurs Fap pour moteurs essence, le problème ne devrait pas se poser: la température des gaz d'échappement étant plus élevée que sur un diesel, la régénération devrait avoir lieu en continu.

Les normes antipollution durcies ont rendu le Fap obligatoire sur les moteurs diesels, sur lesquels il a prouvé son efficacité.



N° 1499 - 26.05.2017 43

Figure 51 Magazine Auto Plus N°1499, paru le 26 mai 2017, page 43

UNE TECHNOLOGIE EXPLIQUÉE

L'injection directe

Elle est devenue incontournable sur les blocs diesels, et est en train de le devenir sur les essence. Voyons le fonctionnement de l'injection directe.

Comment ça marche
 Sur les anciens moteurs, le carburant était injecté dans une préchambre située dans la culasse (diesel) ou dans les tubulures d'admission (essence). Des solutions économiques et avantageuses en matière de bruit (sur le diesel), mais peu performantes (combustion incomplète, dosage imprécis). Sur les moteurs à injection directe, le carburant est pulvérisé dans le cylindre. Sur un diesel, cela permet une combustion plus complète, et donc un meilleur rendement. Sur un essence, il devient possible d'alimenter le moteur en "mélange pauvre", avec une faible quantité de carburant injectée au dernier moment à proximité de la bougie d'allumage, au bénéfice de la sobriété.

Sur un bloc à injection directe, le carburant accumulé dans la rampe commune (ci-contre) est ensuite pulvérisé directement dans la chambre de combustion (en bas). Il en résulte un meilleur rendement: performances en hausse, consommation en baisse.

A l'usage
 Les premiers diesels à injection directe étaient très bruyants. Mais les actuels, dotés de rampes communes et d'injecteurs modernes (piézoélectriques), ont abaissé leur niveau sonore en effectuant des petites injections de carburant avant la "vraie" injection.

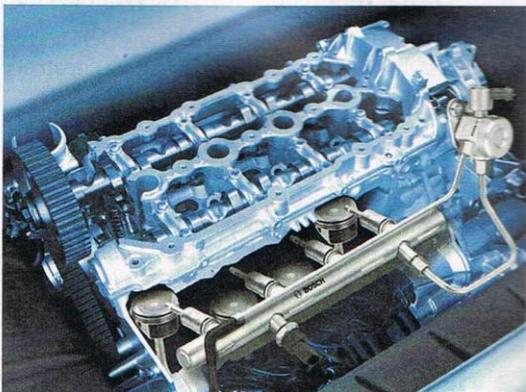
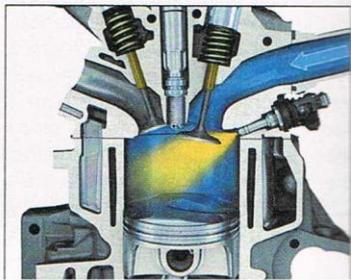



Figure 52 Magazine Auto Plus N°1496, paru le 5 mai 2017

Service PRATIQUE

Chaque semaine, nos deux "laborantins" experts, Jérôme Fombelle et Thomas Doufresne, mettent leurs compétences à votre service, qu'il s'agisse de sujets pratiques, de prise en main de nouveaux accessoires ou de comparatifs de produits.

Un laboratoire de tests de 100 m² équipé de tout l'outillage nécessaire pour évaluer, voire torturer, les équipements ou matériels liés à l'auto.

POUR LES CONTACTER
laboautopluspratique@mondadori.fr

VOS QUESTIONS

Limiter l'usure des plaquettes, possible?
Paul, par e-mail

L'efficacité accrue des freins a un revers : l'usure prématurée des plaquettes. L'ESP, par exemple, joue un rôle érosif important. Dès lors, roulez pied léger dans les ronds-points et sous la pluie. Sur routes sinueuses aussi, car une montée en température trop importante accélère l'usure.

TRAJETS URBAINS, LE GRAND ENNEMI

Ne réaliser que des courts trajets, ou les accumuler, génère des problèmes en cascade. Le moteur ne montant pas assez en température pour optimiser la combustion, la formation de particules imbrûlées est importante et l'encrassement du Fap s'accélère. Ce seuil critique atteint, réaliser un cycle de régénération requiert de rouler à régime soutenu (voir ci-contre "Comment limiter son encrassement").

DIESELS HDi CHEZ PSA, GÉREZ L'ADDITIF

Pour que la combustion des suies accumulées dans le Fap s'effectue plus aisément, PSA a abaissé la température requise à 400 °C (au lieu de 600 °C) grâce à un additif, la cérine, qui est mélangé au carburant dans le réservoir à chaque plein. Les conditions de régénération sont alors plus faciles à atteindre. Côté entretien, la mise à niveau du réservoir d'additif, en principe prévue lors des révisions, devra intervenir plus tôt si vous faites souvent de petits ravitaillements. En effet, le calculateur injecte l'additif par tranche de 10 litres de gazole détectée. Si, par exemple, vous prenez 41 litres, la quantité de cérine sera calculée pour 50 litres. Aussi, lorsque vous faites le plein, lâchez le pistolet avant d'atteindre une dizaine. De plus, à chaque ouverture du bouchon de réservoir (détectée grâce à des aimants intégrés), une petite quantité d'additif est injectée, que vous versiez ou non du carburant.



Comment faire durer LE FAP

Prévu pour tenir 150 000 km en moyenne, le filtre à particules d'un diesel se colmate souvent bien avant ce terme. En cause, des conditions d'utilisation inadaptées, avec, à la clé, un coûteux remplacement.

Le Fap piège les particules de carbone, et doit les brûler lorsqu'il en est saturé. Cet engorgement est surveillé par un calculateur qui détecte, via des sondes, une trop grande différence de pression entre entrée et sortie de filtre. Là, la régénération est prête à être lancée. Mais, pour atteindre les 600 °C nécessaires à la combustion des suies, l'auto doit rouler durant un certain laps de temps à un régime moteur et à des températures d'eau et d'huile suffisamment élevées. Des conditions jamais réunies en ville, d'où le risque de colmatage du Fap.

PEUT-ON FORCER SA RÉGÉNÉRATION?

Un pro, oui, via l'outil diagnostic. Sinon, impossible de prévoir le déclenchement du cycle en roulant. Par ailleurs, une fois lancé, ce cycle peut passer inaperçu pour le conducteur. Juste deux indices : une surconsommation instantanée visible à l'ordinateur de bord, et une fumée anormalement épaisse à l'échappement. Aussi est-il important de mettre régulièrement le véhicule en conditions de régénération.

COMMENT LIMITER SON ENCRASSEMENT?

Le seul moyen efficace de faire durer le Fap, c'est d'augmenter volontairement la température du moteur pour lui offrir le plus souvent possible les conditions requises au lancement d'une phase de régénération. Pour cela, effectuez régulièrement un trajet non-stop de 30 km minimum. Sur autoroute ou voie rapide dégagée, maintenez un régime supérieur à 3500 tr/mn (au besoin en 4^e, pour ne pas rouler trop vite), durant au moins vingt minutes. Ceci une fois par semaine pour un diesel faisant surtout de petits trajets, et une à deux fois par mois pour les autres. Attention, la régénération sera interrompue, donc incomplète, si vous ralentissez ou passez sous les 3500 tr/mn.

VOYANT FAP ALLUMÉ, SAUVEZ-LE SANS TARDER

Des machines spécifiques permettent un décaissage du Fap. L'hydrogène (150 €, Flexfuel-company.com) nettoie toute l'admission, vanne EGR et échappement compris, en un seul traitement. Wynn's et Bardahl injectent, eux, un puissant solvant dans le Fap pour le rincer (200 €). Ces traitements, qui sauvent des filtres très encrassés, peuvent aussi être appliqués de façon préventive (tous les deux ans).



Figure 53 Magazine Auto Plus N°1496, paru le 5 mai 2017, page 55

10.7. Valeurs des essais effectués par HHO Green Tech



« L'efficience au sens propre »

Résultats AVANT & APRES décalaminage

Carburant	Véhicule	Marque	Cylindrée	Kilométrage	Taux CO avant HHO (ppm)	Taux CO après HHO (ppm)	Variations	Commentaires & Impressions
Essence	A3 1.8 Turbo	Audi	1800 cm3	197000	5106	551	-89%	Accélération plus franches!
Essence	S3 1.8 Turbo	Audi	1800 cm3	200000	4873	568	-88%	Disparition à-coups en 1ère & 2nde
Essence	206 1.6i	Peugeot	1600 cm3	90000	3986	879 puis 36	-99%	Sonorité plus ronde, assourdie
Essence	190 SL	Mercedes	1960 cm3	129000	> 16000	3860	-72%	Moteur "métamorphosé"!
Essence	DS 3R	Citroën	1600 cm3	95500	797	26	-97%	Linéarité, réactivité, puissance!
Carburant	Véhicule	Marque	Cylindrée	Kilométrage	Opacité avant HHO (k)	Opacité après HHO (k)	Variations	Commentaires & Impressions
Gasoil	Combi 1.9D	Fiat	1900 cm3	145000	1.68	0.74	-56%	Moteur moins bruyant & plus doux
Gasoil	206 Hdi	Peugeot	2000 cm3	167000	1.28	0.53	-59%	Plus de claquements au ralenti
Gasoil	Passat 1.9 Tdi	Volkswagen	1900 cm3	360000	1.12	0.51	-54%	Moteur plus linéaire, moins brutal
Gasoil	A6 V6 Tdi	Audi	3000 cm3	265000	1.37	0.62	-55%	Vivacité & accélérations en hausse

Figure 54 Les mesures de pollution effectuées par HHO Green Tech. La cellule de mesure des oxydes d'azote n'était pas encore installée à l'époque.

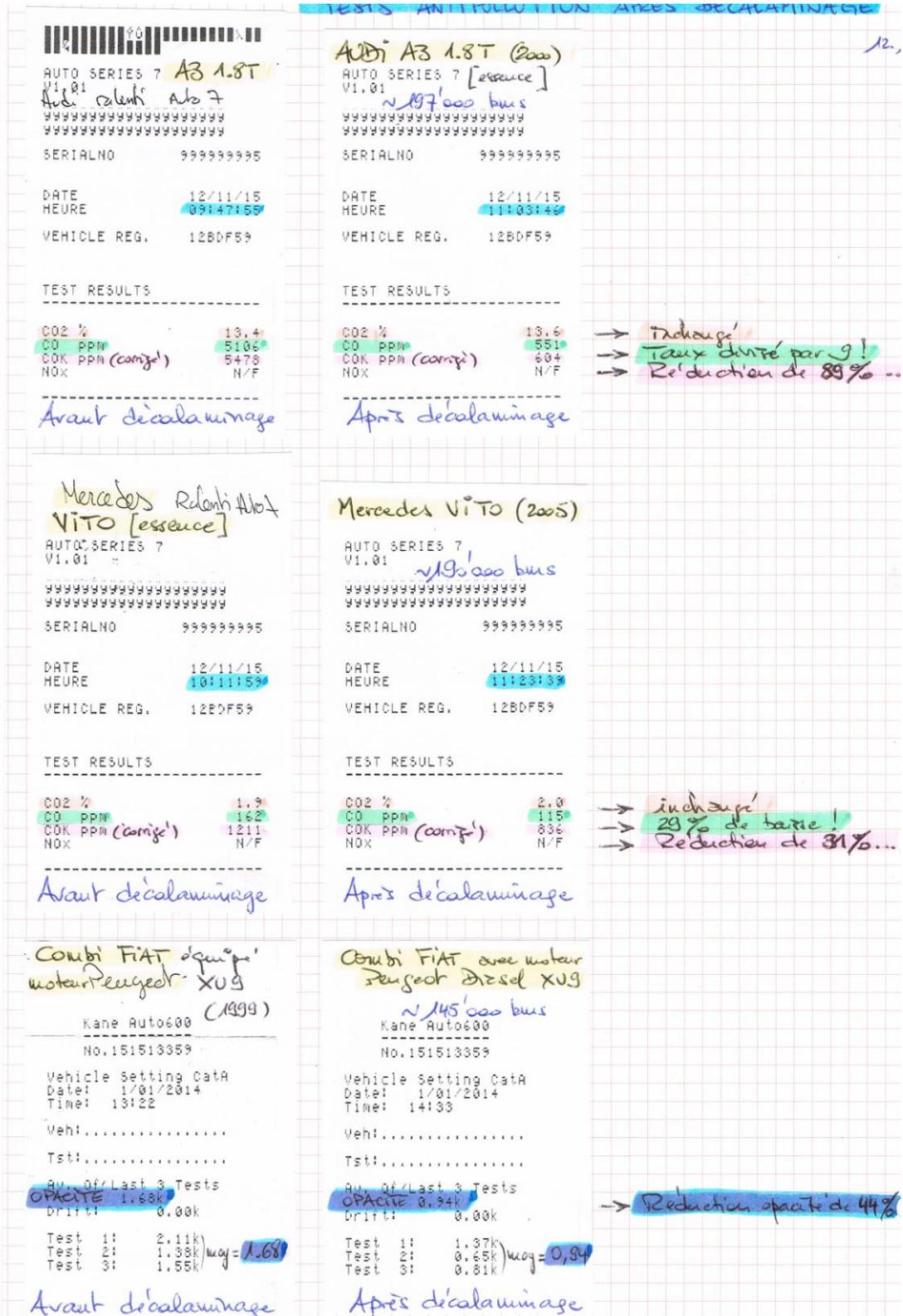


Figure 55 Les mesures de pollution effectuées par HHO Green Tech. La cellule de mesure des oxydes d'azote n'était pas encore installée à l'époque.

10.8. L'échange des mails

15/03/2018

Gmail - Notre échange sur la technologie HHO



Nadiya Palonova <nadiya.palonova@gmail.com>

Notre échange sur la technologie HHO

2 messages

c.royer@hhogreentech.com <c.royer@hhogreentech.com>

5 février 2018 à 11:01

Répondre à : c.royer@hhogreentech.com

À : nadiya.palonova@gmail.com

Chère Madame,

Dans le prolongement de notre entretien téléphonique, je vous transmets quelque documentation complémentaire afin de préparer au mieux notre entrevue de mercredi.

Vous en souhaitant bonne réception & instructive lecture,

Avec mes cordiales salutations éco-responsables.

Christophe Royer
Direction Technique
tél. 078 720 12 73
HHO Green Tech
www.hhogreentech.com

3 pièces jointes

Flyer_Prestations HHO Green Tech.pdf
519K

Rédactionnel HHO GreenTech.pdf
187K

Résultats Tests_décalaminage_HHO Green Tech.pdf
54K

c.royer@hhogreentech.com <c.royer@hhogreentech.com>

5 février 2018 à 13:44

Répondre à : c.royer@hhogreentech.com

À : nadiya.palonova@gmail.com

Rebonjour,

Ci-joint lien hypertexte pour le site du Swiss Energy Tour 2017 - 2019, sous lequel vous y découvrirez notre film HHO en motion picture : <http://www.swissenergytour.ch/fr/partenaires/partenaires-habitat-jardin-2017>

Vous en souhaitant instructive visualisation,

Bien cordialement.

C. Royer

4 pièces jointes

Rédactionnel HHO GreenTech.pdf
187K

Résultats Tests_décalaminage_HHO Green Tech.pdf
54K

Flyer_Prestations HHO Green Tech.pdf
519K

Message original
1041K

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ui=2&ik=ea71a10848&jsver=HEXmwaVjuYA.fr.&view=pt&q=c.royer%40hhogreentech.com&qs=true&search=qu...> 1/1

Figure 56 Notre premier échange avec HHO Green Tech

15/03/2018

Gmail - Invité information



Nadiya Palonova <nadiya.palonova@gmail.com>

Invité information

6 messages

Nadiya Palonova <nadiya.palonova@gmail.com> 5 février 2018 à 14:12
 À : claude.gobat@divtec.ch, Hayyane Filali Mohammed <mohammed.hayyanefilali@divtec.ch>, henri.bussat@divtec.ch, gilles.dana@ecolive.ch
 Cc : c.royer@hhogreentech.com

Bonjour,

Monsieur,

Dans le cadre de notre projet scolaire: **Hydrogénez-moi!**

J'ai pu prendre contact et fixer un rendez-vous avec Monsieur **Christophe Royer**, Co-fondateur et CEO de Swiss Energy Efficiency. Il gère l'entreprise **HHO Green Tech Swiss**.

Pris à court de temps, dans le cadre de notre projet scolaire, ce Monsieur viendra ce mercredi, le **7 février 2018, à 14h00**. Le but étant de fixer un cadre pour faire les testes d'antipollution.

En effet, le siège de l'entreprise est à Délémont, et il connaît un garage qui a toutes les dispositifs nécessaires pour effectuer des testes complets.

Le but final étant de faire des testes antipollution et présenter les résultats dans le rapport afin de convaincre le lecteur de l'intérêt de ce système pour l'avenir écologique de la Suisse.

Cordialement,

Nadiya.

Figure 57 Entretien avec le représentant de HHO Green Tech

Hayyane Filali Mohammed <Mohammed.HayyaneFilali@divtec.ch>
 À : Nadiya Palonova <nadiya.palonova@gmail.com>
 Cc : Bussat Henri <Henri.Bussat@divtec.ch>, Gobat Claude <Claude.Gobat@divtec.ch>

Bonjour,

- 1) On a l'accord de la direction pour faire les essais, mais il faut être prudent pendant que vous roulez.
- 2) Pour le test d'électrotechnique, il est reporté !
- 3) A l'école les responsables de formation automobiles sont d'accord pour les tests le 21 février. On discutera le 19 février.
- 4) C'est à vous de préparer un protocole d'essai qui va être valider par moi et autres prof.
- 5) L'école a une certaine crédibilité et certifiée ISO 9000...
- 6) Essai chez votre papa c'est la confiance qui règne (on n'est pas au tribunal) avec un garagiste ou non.
- 7) Un rapport académique reste un rapport académique (EPFZ, EPFL, HARVARD, DIVTEC...)
- 8) Vous faites un grand effort c'est très bien pas de plagia et synthétiser aux maximum votre rapport et les documents justificatifs en annexe.

Bon courage et bonnes vacances

Mohammed H. Filali

De : Nadiya Palonova [mailto:nadiya.palonova@gmail.com]
Envoyé : jeudi, 8 février 2018 12:52
À : Gobat Claude <Claude.Gobat@divtec.ch>; Hayyane Filali Mohammed <Mohammed.HayyaneFilali@divtec.ch>
Cc : Bussat Henri <Henri.Bussat@divtec.ch>
Objet : Essaies de teste d'antipollution

[Texte des messages précédents masqué]

Nadiya Palonova <nadiya.palonova@gmail.com>
 À : c.royer@hhogreentech.com

Conversation transféréeObjet : Essaies de teste d'antipollution**Figure 58** Validation de l'école pour faire les essais.

15/03/2018

Gmail - Transférer évaluer efficacité de la decalamination

Bonjour,

Comme convenu lundi, voici l'extrait de la conversation sms avec M.Royer concernant l'essai antipollution sur la bm après la decarburation.

Cordialement,

Nadiya

Nadiya Palonova <nadiya.palonova@gmail.com>
À : c.royer@hhogreentech.com

1 mars 2018 à 08:16

----- Message transféré -----

De : "Hayyane Filali Mohammed" <Mohammed.HayyaneFilali@divtec.ch>
Date : 1 mars 2018 08:15
Objet : RE: Transférer évaluer efficacité de la decalamination
À : "Nadiya Palonova" <nadiya.palonova@gmail.com>
Cc : "Bussat Henri" <Henri.Bussat@divtec.ch>

Bonjour,

J'ai eu l'accord de la direction, Vous pouvez assister le 7 mars à l'essai au garage « Affolter ».

2 heures maximum.

Bonne journée.

Mohammed H. Fiali

De : Nadiya Palonova [mailto:nadiya.palonova@gmail.com]

Envoyé : mercredi, 28 février 2018 13:16

À : Hayyane Filali Mohammed <Mohammed.HayyaneFilali@divtec.ch>

Cc : Bussat Henri <Henri.Bussat@divtec.ch>; Gobat Claude <Claude.Gobat@divtec.ch>

Objet : Transférer évaluer efficacité de la decalamination

Bonjour,

Comme convenu lundi, voici l'extrait de la conversation sms avec M.Royer concernant l'essai antipollution sur la bm après la decarburation.

Cordialement,

Nadiya

c.royer@hhogreentech.com <c.royer@hhogreentech.com>
Répondre à : c.royer@hhogreentech.com
À : Nadiya Palonova <nadiya.palonova@gmail.com>

2 mars 2018 à 09:56

Bonjour,

J'ai bien pris acte de votre courriel, et vous en remercie.

Je me réjouis que vous puissiez vous joindre à cet a-m de décalaminage chez un professionnel du monde automobile ; à ce propos, il en profitera pour évaluer l'efficacité de notre technologie avec ses propres appareils de mesure des taux de gaz d'échappement (uniquement pour les moteurs à essence). Vous pourrez ainsi vous baser sur des valeurs fiables, émises par un garagiste accrédité.

Concernant le déroulement de l'a-m, j'y serai à partir de 13h30 : j'ai 2 véhicules du garage à décalaminer + un décalaminage de finition de la BMW de Lucien. Soit vous venez de suite à 13h30 pour la BMW, soit je vous appelle

Figure 59 Validation de l'école pour le deuxième essai