



# MOTEURS THERMIQUES – partie 3

## Evolutions

# Allègement

## Fabrication

- ▶ Allègement
- Hydroformage

## Distribution

- Poussoir hydraulique
- Distribution variable
- Camless

## Injection

- Diesel HP
- Directe essence

## Remplissage

- Turbulences
- Stratification
- Suralimentation

## Allumage

- Twin spark

## Refroidissement

- Pompe électrique
- Intercooler

## Hybridation

- Principe
- Alternateur-démareur

## Dépollution

- Post-traitement
- NOx
- Carbone



# Allègement et hydroformage

## Fabrication

▶ Allègement  
Hydroformage

## Distribution

Poussoir hydraulique  
Distribution variable  
Camless

## Injection

Diesel HP  
Directe essence

## Remplissage

Turbulences  
Stratification  
Suralimentation

## Allumage

Twin spark

## Refroidissement

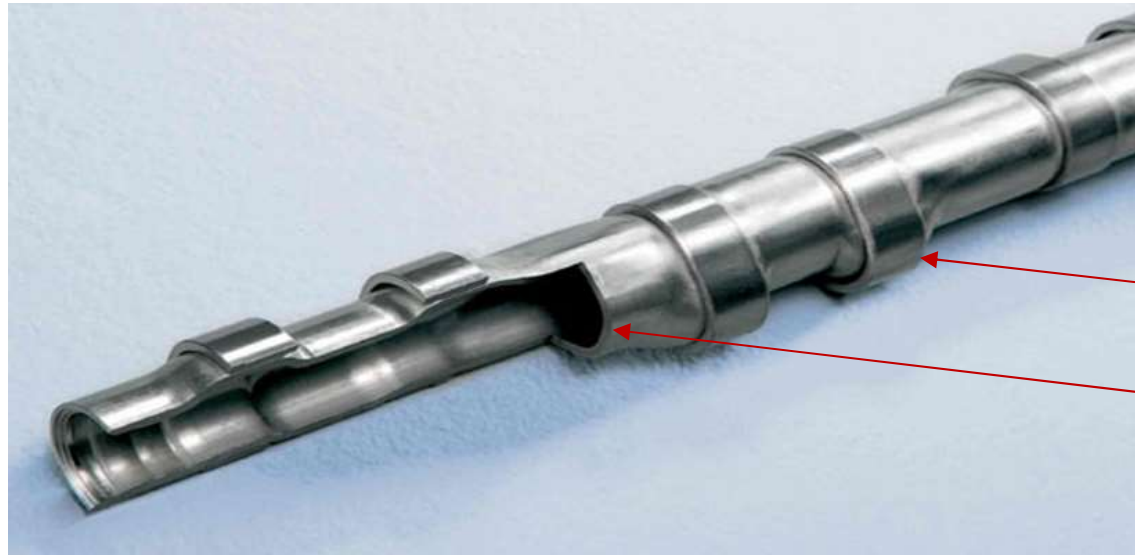
Pompe électrique  
Intercooler

## Hybridation

Principe  
Alternateur-démareur

## Dépollution

Post-traitement  
NOx  
Carbone



Came rapportée  
sur un  
tube hydroformé



Conduits  
« spaghetti »

# Le diagramme de distribution - origines

## Fabrication

- Allègement
- Hydroformage

## Distribution

- Poussoir hydraulique
- Distribution variable
- Camless

## Injection

- Diesel HP
- Directe essence

## Remplissage

- Turbulences
- Stratification
- Suralimentation

## Allumage

- Twin spark

## Refroidissement

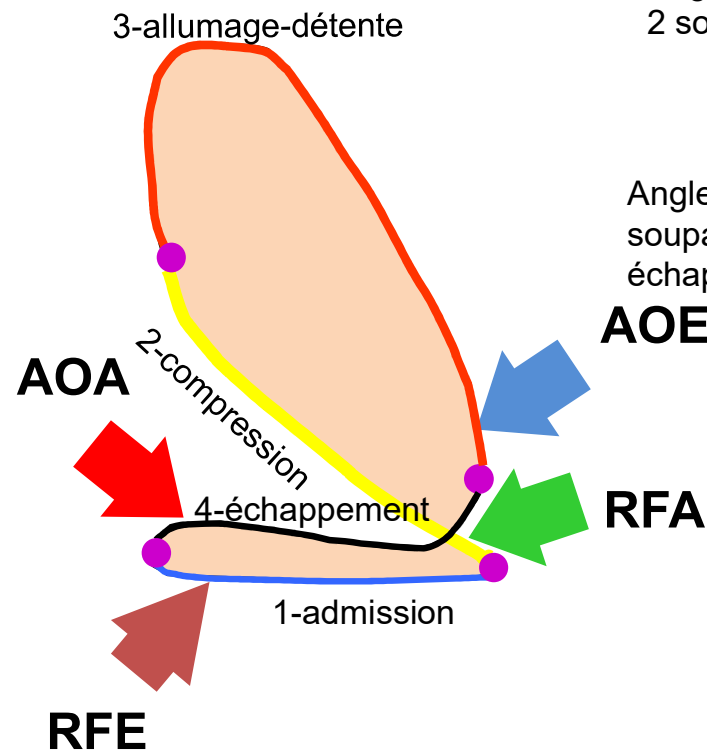
- Pompe électrique
- Intercooler

## Hybridation

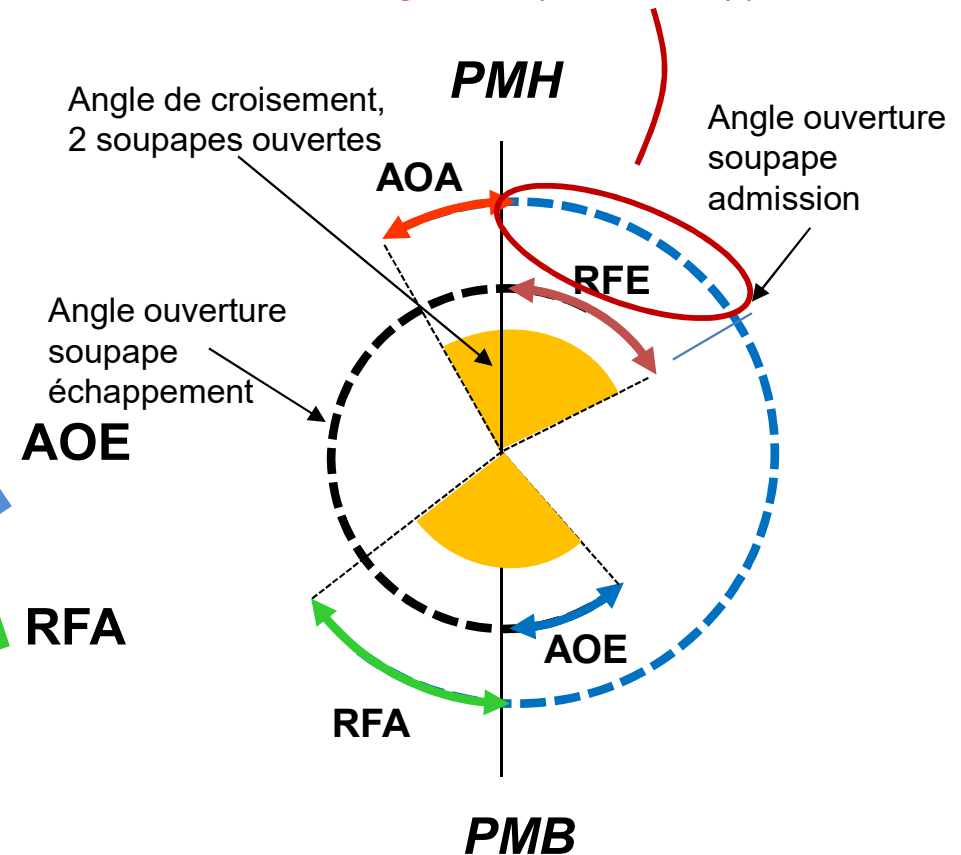
- Principe
- Alternateur-démareur

## Dépollution

- Post-traitement
- NOx
- Carbone



Soupapes d'admission et d'échappement  
ouvertes en même temps !  
→ du gaz frais peut s'échapper !





# Poussoir hydraulique

## Fabrication

- Allègement
- Hydroformage

## Distribution

- Poussoir hydraulique
- Distribution variable
- Camless

## Injection

- Diesel HP
- Directe essence

## Remplissage

- Turbulences
- Stratification
- Suralimentation

## Allumage

- Twin spark

## Refroidissement

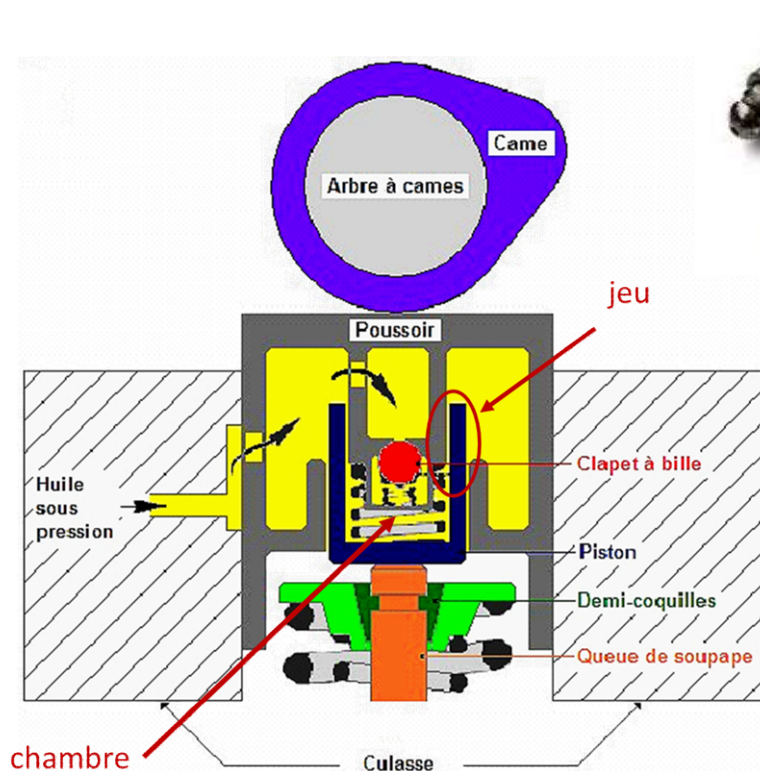
- Pompe électrique
- Intercooler

## Hybridation

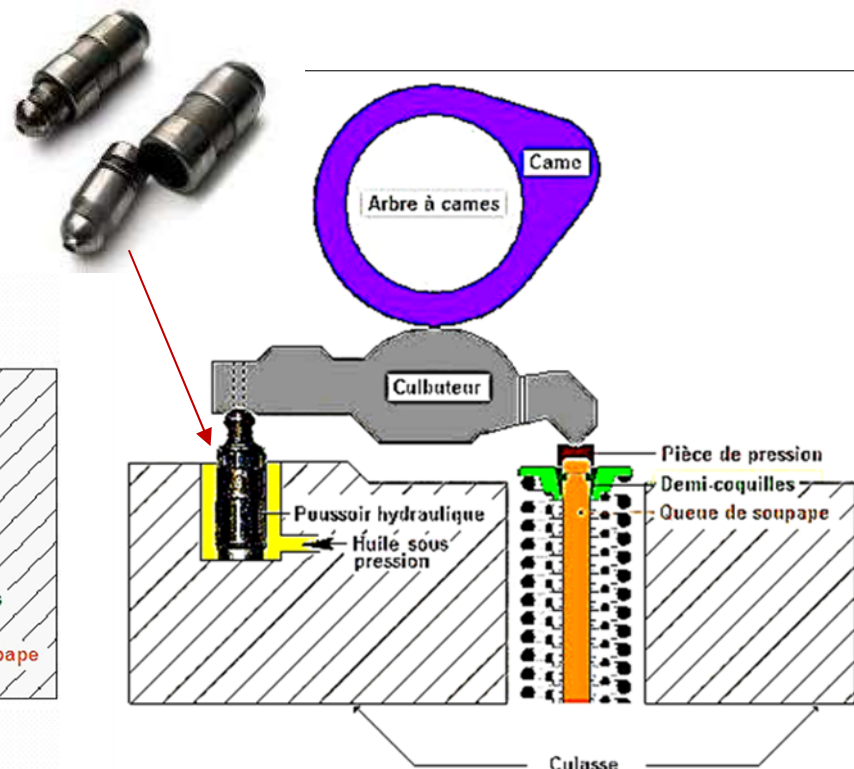
- Principe
- Alternateur

## Dépollution

- Post-traitement
- NOx
- Carbone



Commande directe



Commande indirecte  
dite culbutée

# Distribution variable

## Fabrication

- Allègement
- Hydroformage

## Distribution

- Poussoir hydraulique
- Distribution variable
- Camless

## Injection

- Diesel HP
- Directe essence

## Remplissage

- Turbulences
- Stratification
- Suralimentation

## Allumage

- Twin spark

## Refroidissement

- Pompe électrique
- Intercooler

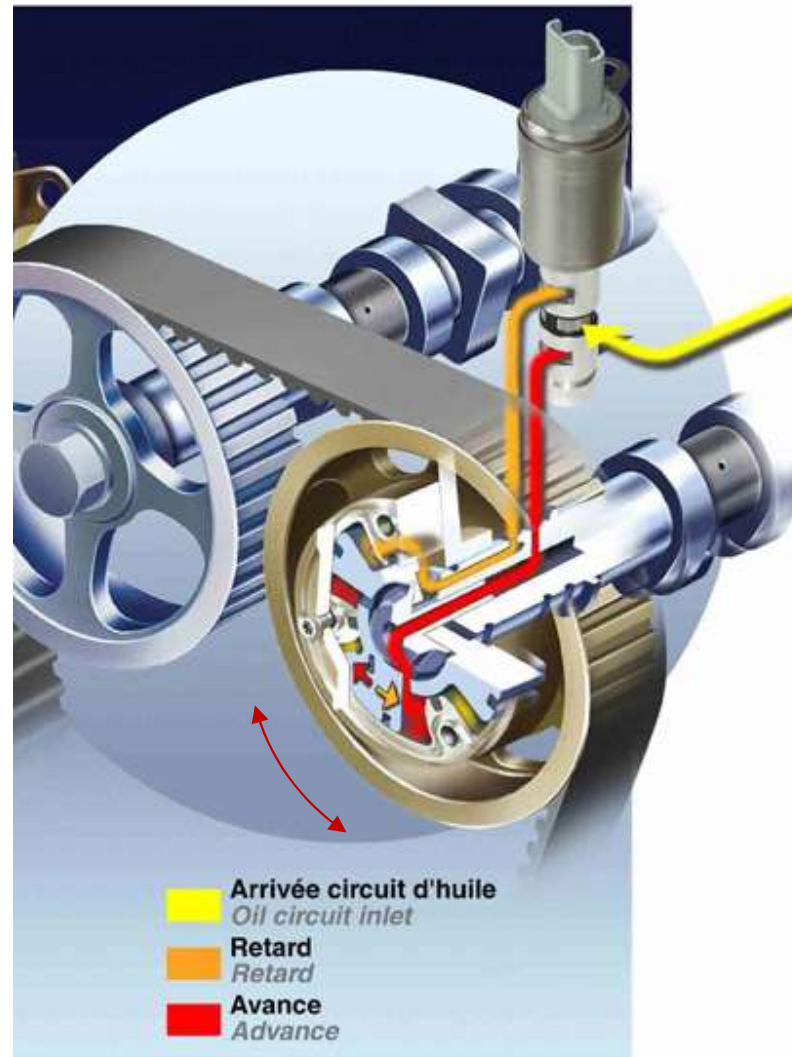
## Hybridation

- Principe
- Alternateur-démareur

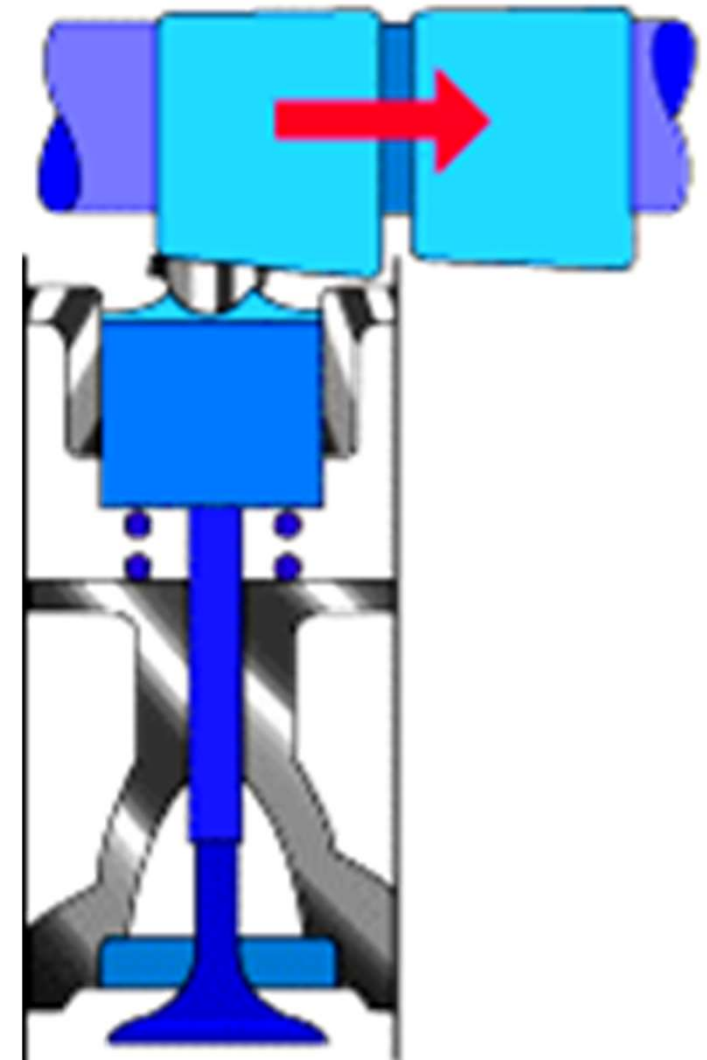
## Dépollution

- Post-traitement
- NOx
- Carbone

## Modification de l'avance et retard



## Modification de la levée (came à profil variable Ferrari)



# Distribution variable

## Fabrication

Allègement  
Hydroformage

## Distribution

Poussoir hydraulique  
Distribution variable  
Camless

## Injection

Diesel HP  
Directe essence

## Remplissage

Turbulences  
Stratification  
Suralimentation

## Allumage

Twin spark

## Refroidissement

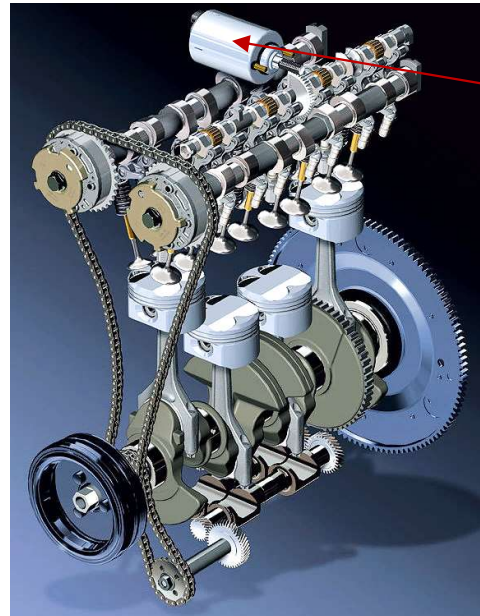
Pompe électrique  
Intercooler

## Hybridation

Principe  
Alternateur-démareur

## Dépollution

Post-traitement  
NOx  
Carbone

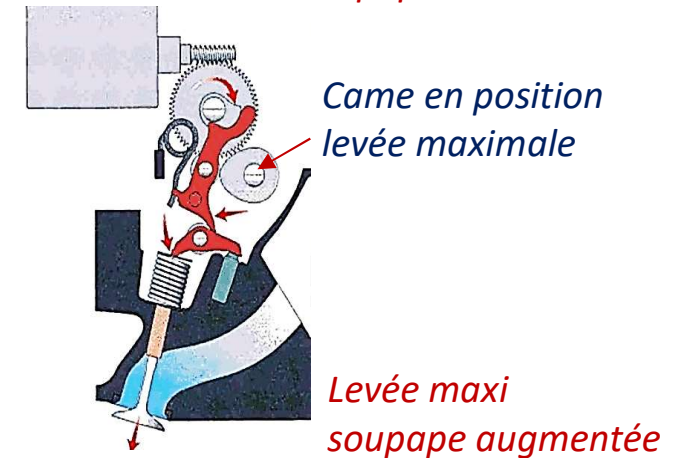
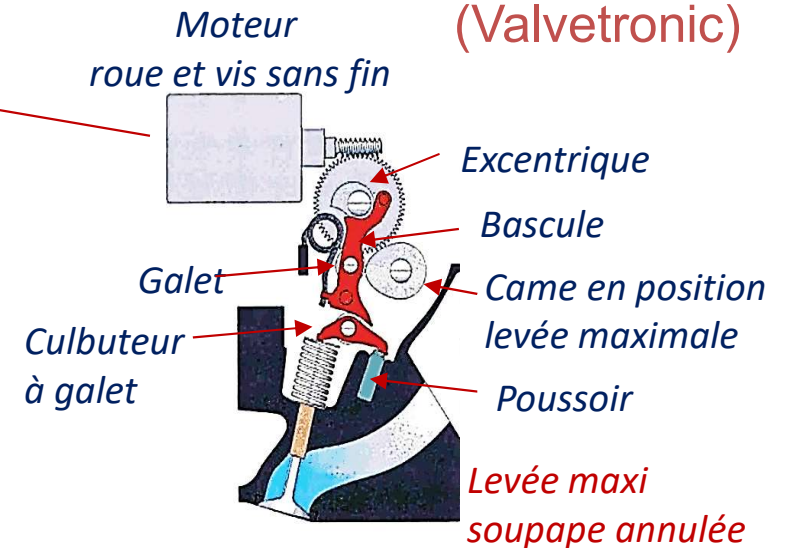


Position du moteur roue et vis sans fin



Culbuteur à galet

## Modification de la levée (Valvetronic)



# Commande électrique des soupapes

## Fabrication

- Allègement
- Hydroformage

## Distribution

- Poussoir hydraulique
- Distribution variable
- ▶ Camless

## Injection

- Diesel HP
- Directe essence

## Remplissage

- Turbulences
- Stratification
- Suralimentation

## Allumage

- Twin spark

## Refroidissement

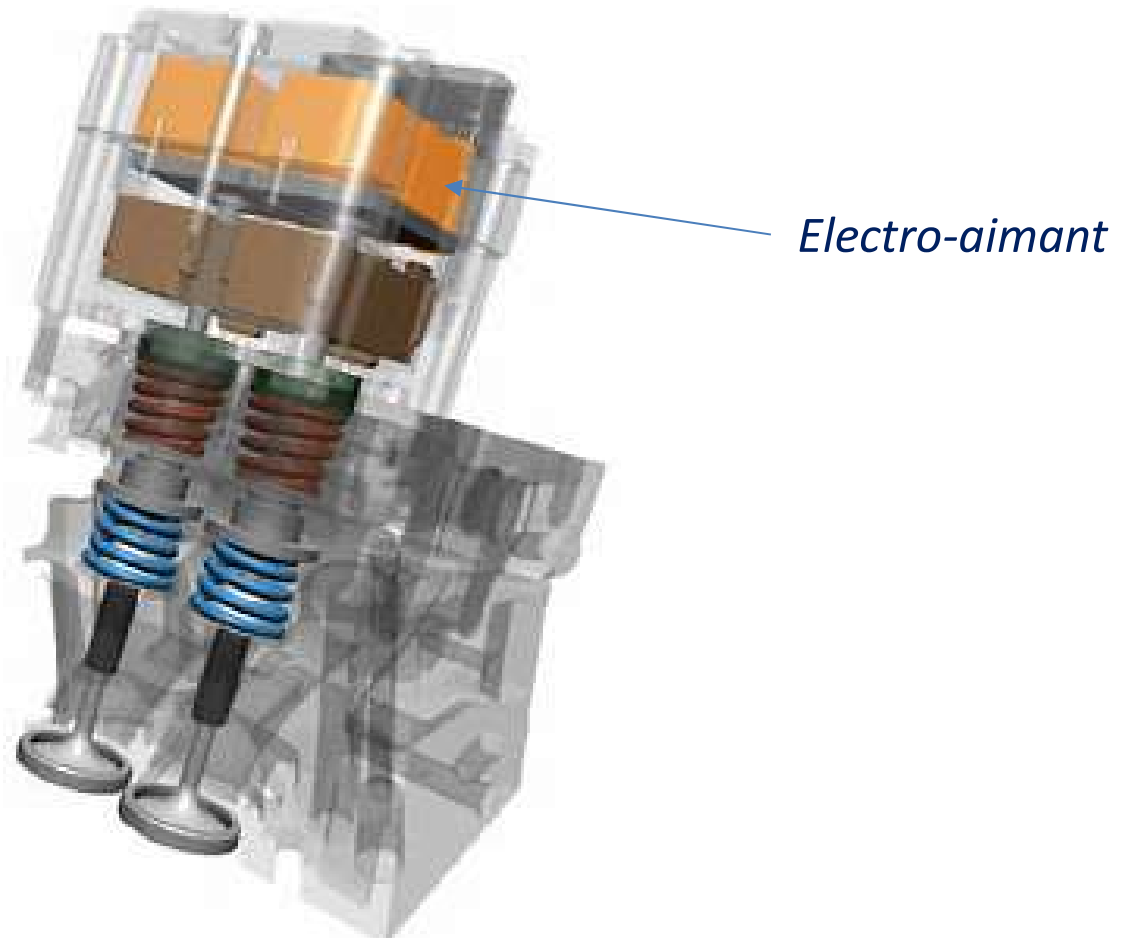
- Pompe électrique
- Intercooler

## Hybridation

- Principe
- Alternateur-démareur

## Dépollution

- Post-traitement
- NOx
- Carbone





# Injecteur diesel HP

## Fabrication

Allègement  
Hydroformage

## Distribution

Poussoir hydraulique  
Distribution variable  
Camless

## Injection

Diesel HP  
Directe essence

## Remplissage

Turbulences  
Stratification  
Suralimentation

## Allumage

Twin spark

## Refroidissement

Pompe électrique  
Intercooler

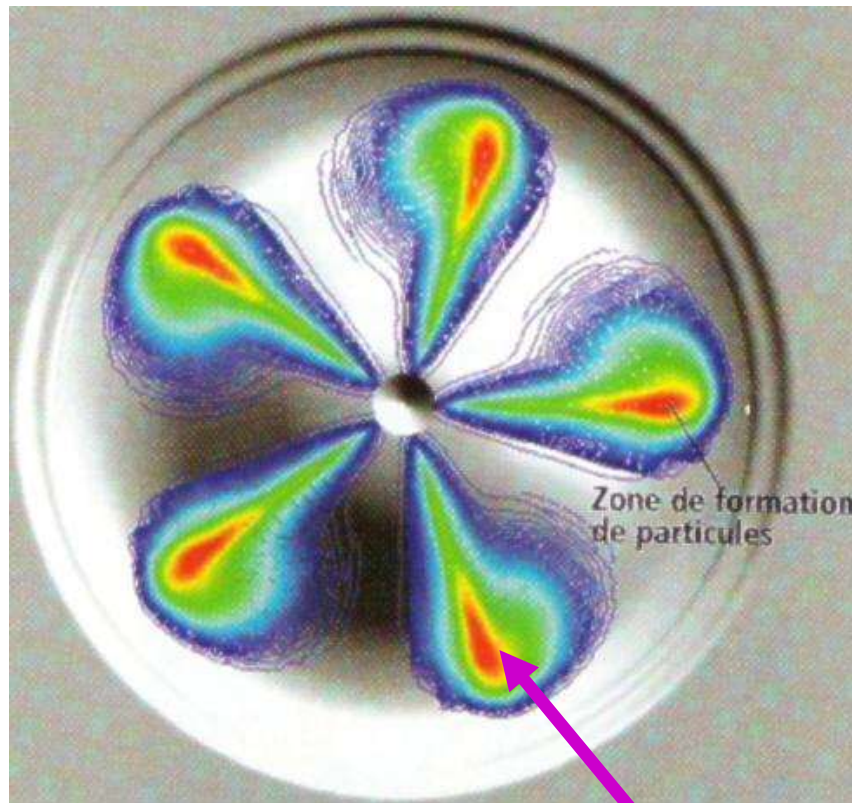
## Hybridation

Principe  
Alternateur

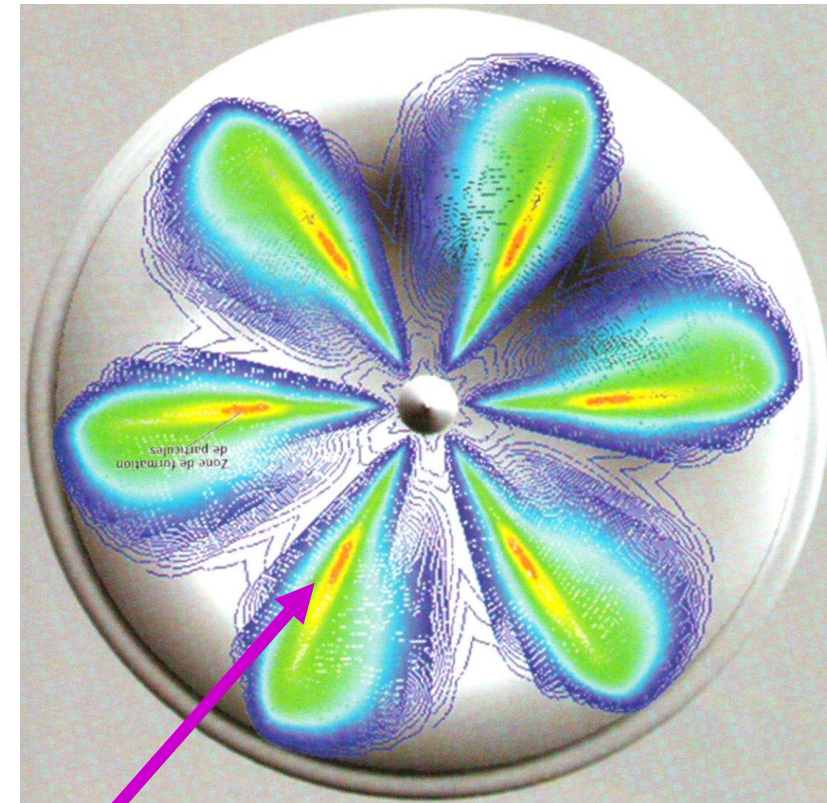
## Dépollution

Post-traitement  
NOx  
Carbone

*Injecteur classique*



*Injecteur HP*



*Zones de particules*

# Injection directe essence

## Fabrication

## Allègement Hydroformage

## Distribution

- Poussoir hydraulique
- Distribution variable
- Camless

## Injection

Diesel HP  
Directe essence

## Remplissage

Turbulences  
Stratification  
Suralimentation

## Allumage

Twin spark

## Refroidissement

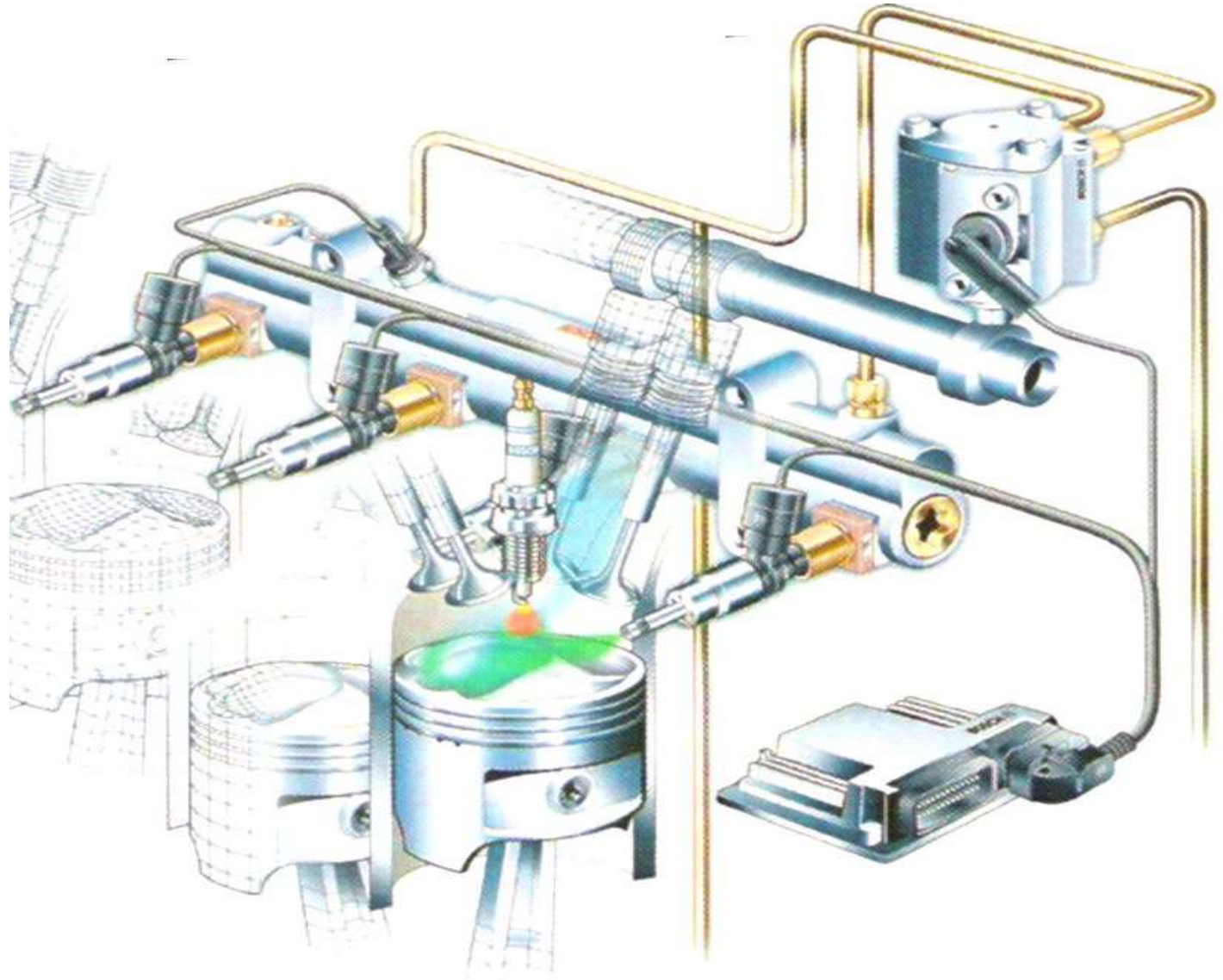
Pompe électrique  
Intercooler

## Hybridation

## Principe Alterno-démarreur

## Dépollution

Post-traitement  
NOx  
Carbone





# Un mélange homogène

## Fabrication

- Allègement
- Hydroformage

## Distribution

- Poussoir hydraulique
- Distribution variable
- Camless

## Injection

- Diesel HP
- Directe essence

## Remplissage

- Turbulences
- Stratification
- Suralimentation

## Allumage

- Twin spark

## Refroidissement

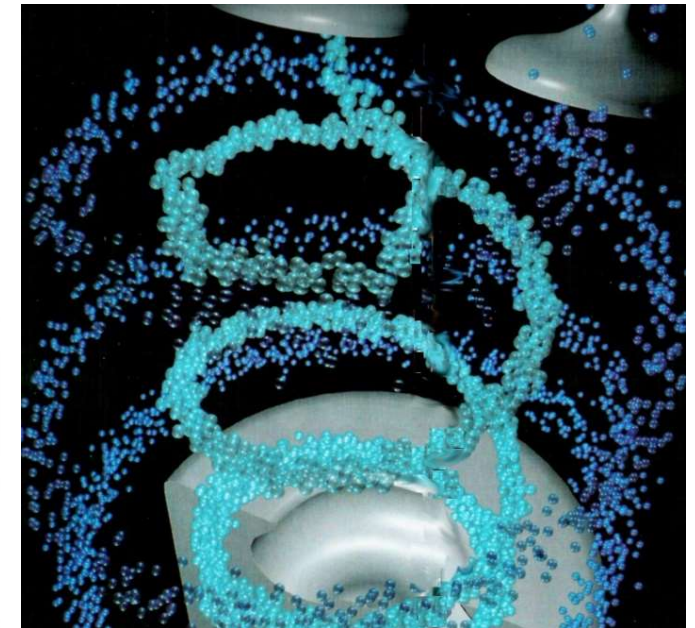
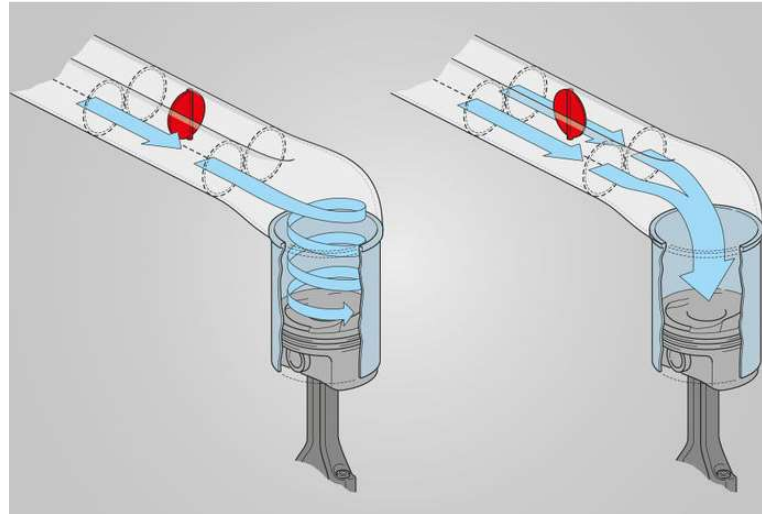
- Pompe électrique
- Intercooler

## Hybridation

- Principe
- Alternateur

## Dépollution

- Post-traitement
- NOx
- Carbone



# Une combustion stratifiée

## Fabrication

- Allègement
- Hydroformage

## Distribution

- Poussoir hydraulique
- Distribution variable
- Camless

## Injection

- Diesel HP
- Directe essence

## Remplissage

- Turbulences
- Stratification
- Suralimentation

## Allumage

- Twin spark

## Refroidissement

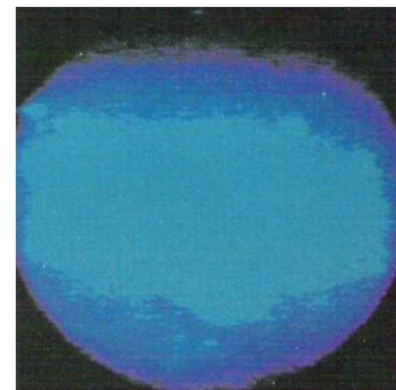
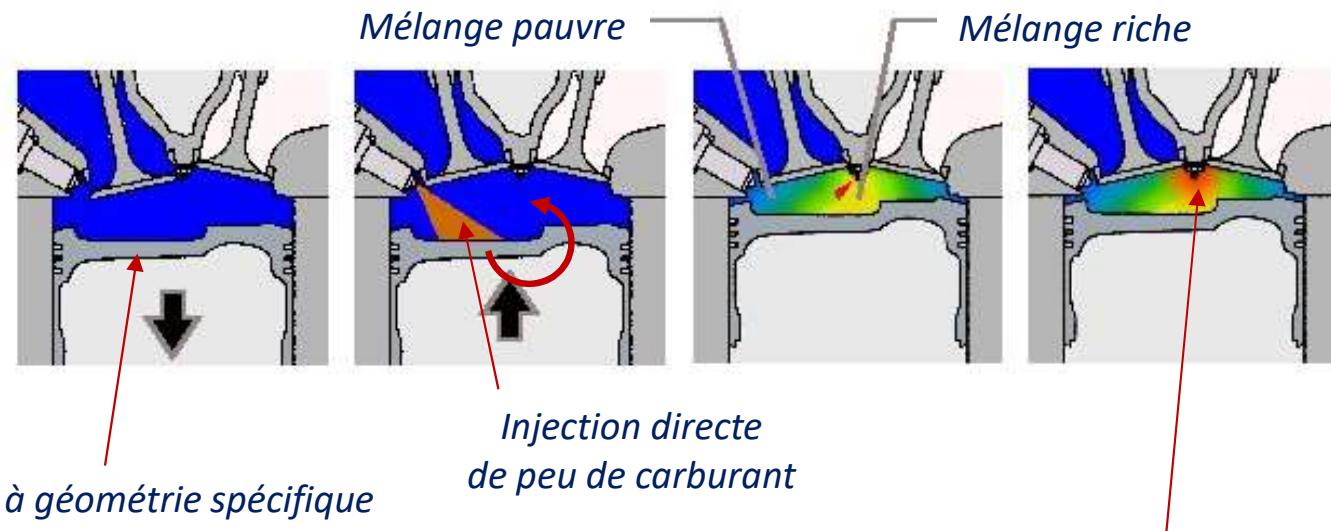
- Pompe électrique
- Intercooler

## Hybridation

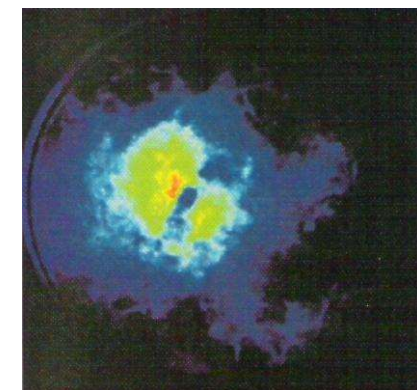
- Principe
- Alternateur-démareur

## Dépollution

- Post-traitement
- NOx
- Carbone



Combustion classique



Combustion stratifiée



# Le turbocompresseur

## Fabrication

- Allègement
- Hydroformage

## Distribution

- Poussoir hydraulique
- Distribution variable
- Camless

## Injection

- Diesel HP
- Directe essence

## Remplissage

- Turbulences
- Stratification
- Suralimentation

## Allumage

- Twin spark

## Refroidissement

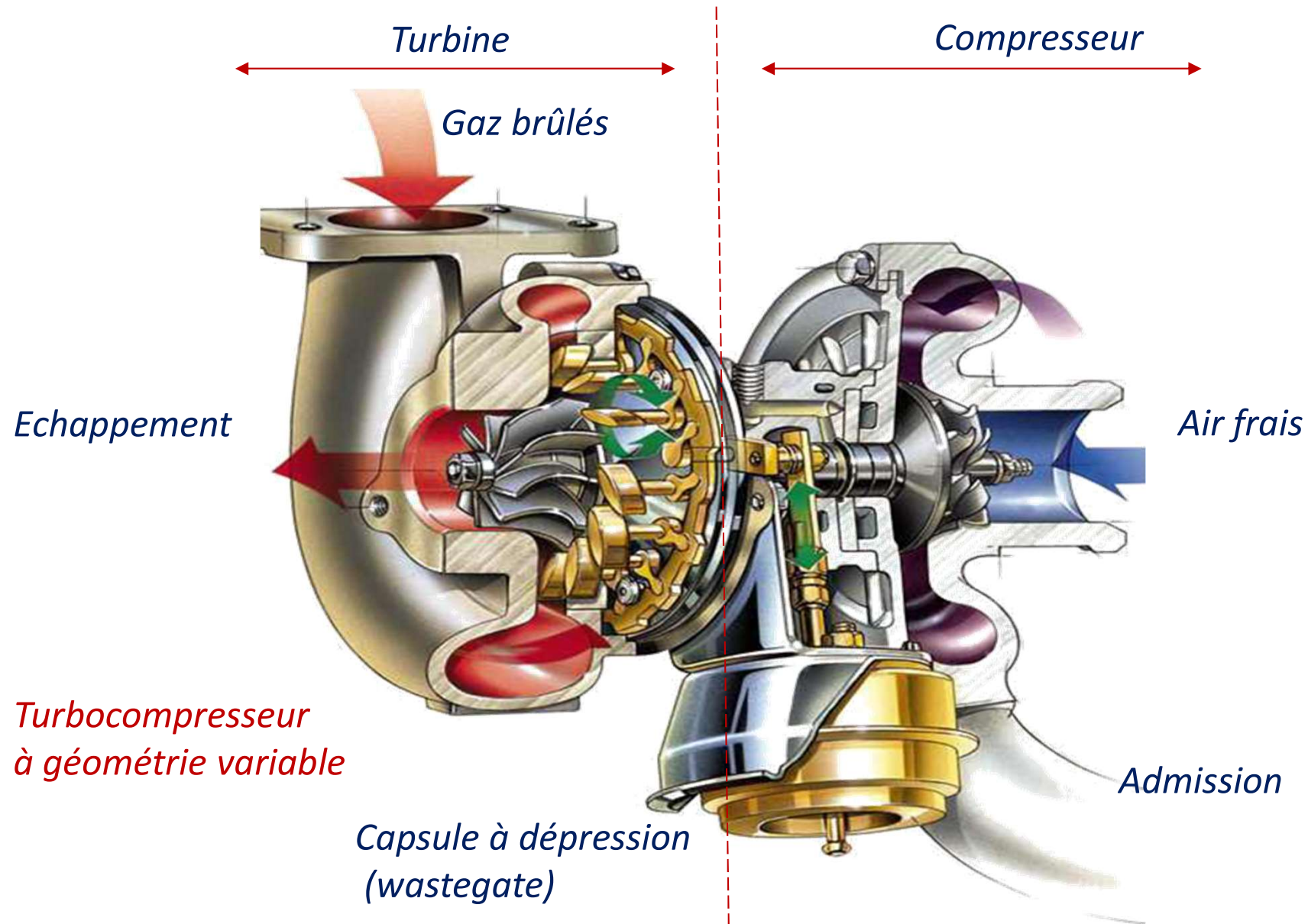
- Pompe électrique
- Intercooler

## Hybridation

- Principe
- Alternateur-démareur

## Dépollution

- Post-traitement
- NOx
- Carbone



# Le turbocompresseur

## Fabrication

Allègement  
Hydroformage

## Distribution

Poussoir hydraulique  
Distribution variable  
Camless

## Injection

Diesel HP  
Directe essence

## Remplissage

Turbulences  
Stratification  
Suralimentation

## Allumage

Twin spark

## Refroidissement

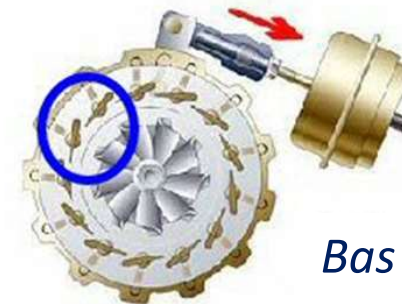
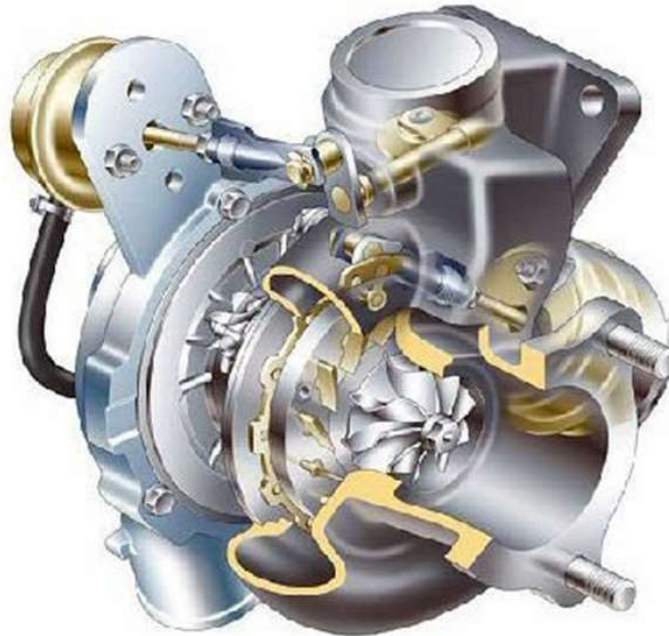
Pompe électrique  
Intercooler

## Hybridation

Principe  
Alternateur-démareur

## Dépollution

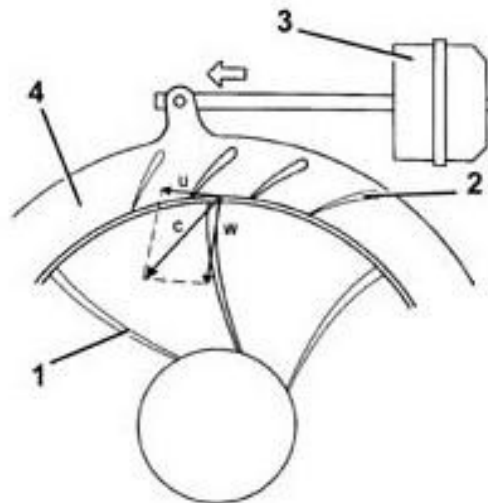
Post-traitement  
NOx  
Carbone



*Bas régime*



*Haut régime*



# Double allumage

## Fabrication

- Allègement
- Hydroformage

## Distribution

- Poussoir hydraulique
- Distribution variable
- Camless

## Injection

- Diesel HP
- Directe essence

## Remplissage

- Turbulences
- Stratification
- Suralimentation

## Allumage

▶ Twin spark

## Refroidissement

- Pompe électrique
- Intercooler

## Hybridation

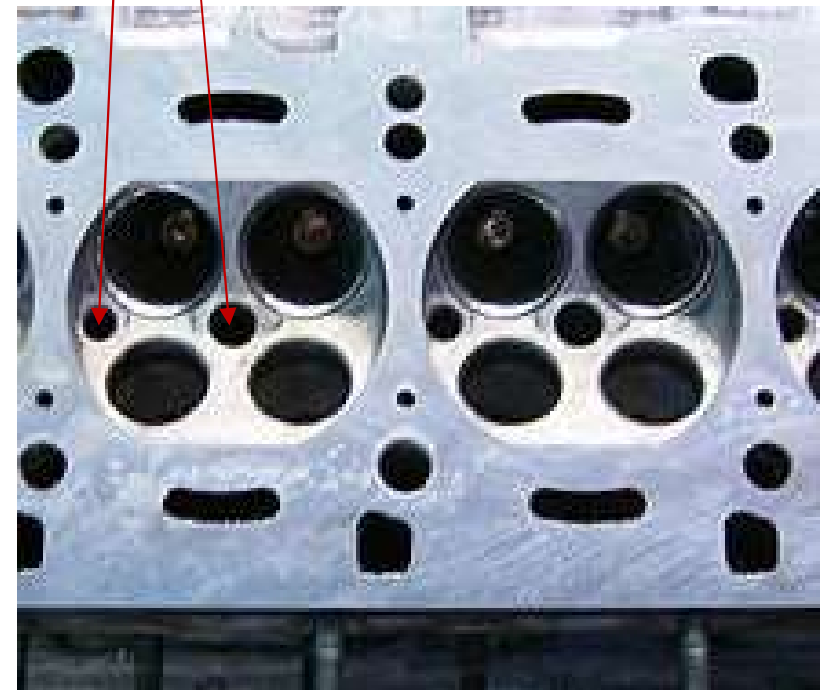
- Principe
- Alternateur

## Dépollution

- Post-traitement
- NOx
- Carbone



*Bougies*





# Pompe à eau électrique

## Fabrication

- Allègement
- Hydroformage

## Distribution

- Poussoir hydraulique
- Distribution variable
- Camless

## Injection

- Diesel HP
- Directe essence

## Remplissage

- Turbulences
- Stratification
- Suralimentation

## Allumage

- Twin spark

## Refroidissement

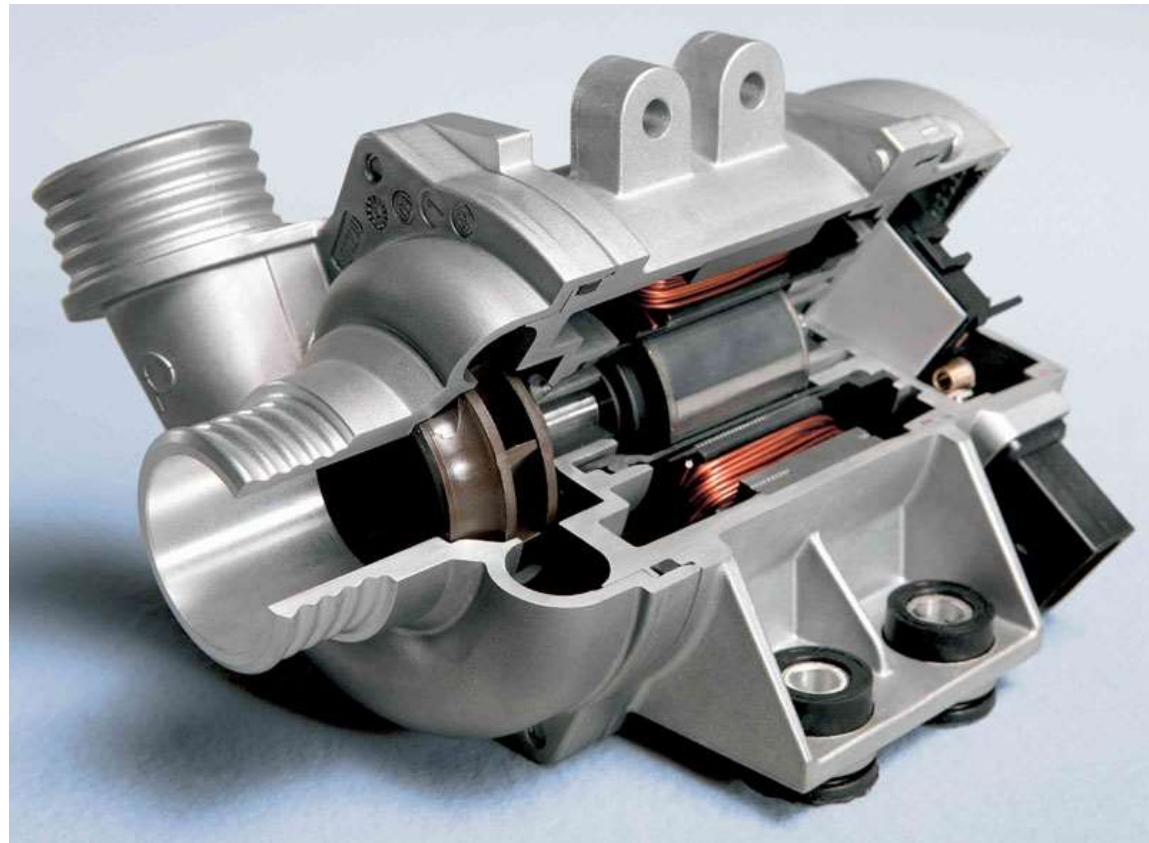
- Pompe électrique
- Intercooler

## Hybridation

- Principe
- Alternateur

## Dépollution

- Post-traitement
- NOx
- Carbone





# L'intercooler

## Fabrication

- Allègement
- Hydroformage

## Distribution

- Poussoir hydraulique
- Distribution variable
- Camless

## Injection

- Diesel HP
- Directe essence

## Remplissage

- Turbulences
- Stratification
- Suralimentation

## Allumage

- Twin spark

## Refroidissement

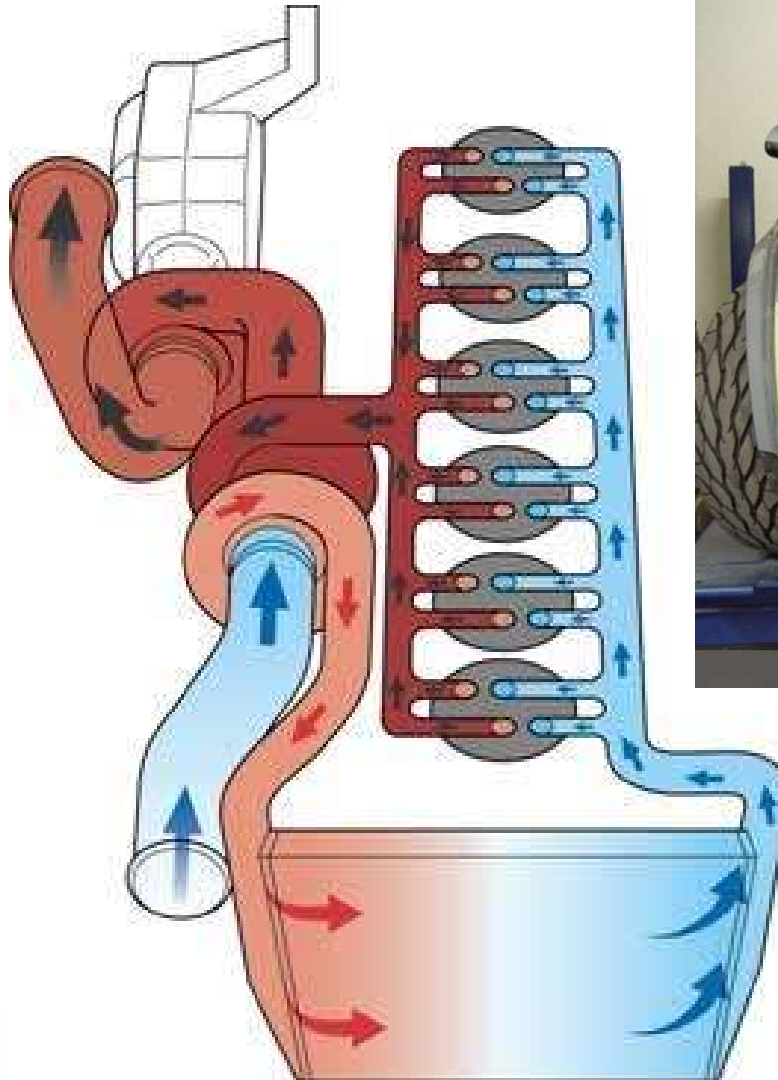
- Pompe électrique
- Intercooler

## Hybridation

- Principe
- Alternateur

## Dépollution

- Post-traitement
- NOx
- Carbone



*intercooler*

# L'hybridation

## Fabrication

Allègement  
Hydroformage

## Distribution

Poussoir hydraulique  
Distribution variable  
Camless

## Injection

Diesel HP  
Directe essence

## Remplissage

Turbulences  
Stratification  
Suralimentation

## Allumage

Twin spark

## Refroidissement

Pompe électrique  
Intercooler

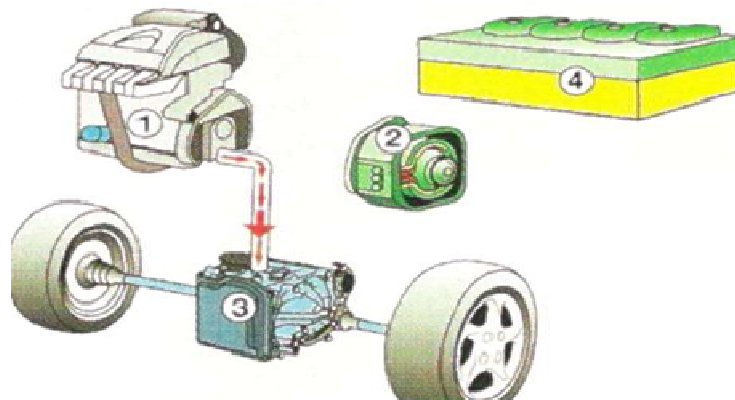
## Hybridation

Principe  
Alternateur

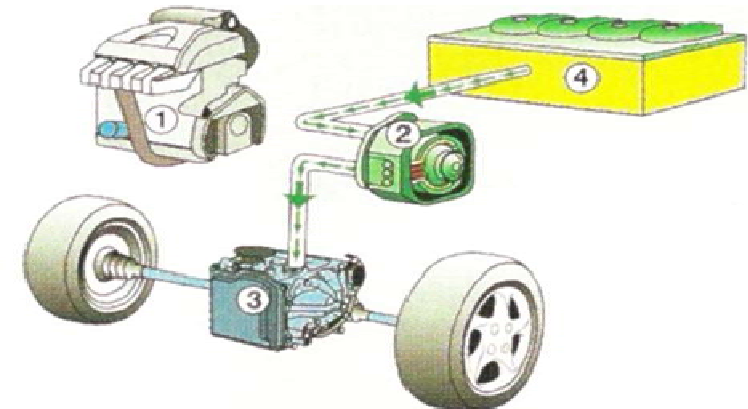
## Dépollution

Post-traitement  
NOx  
Carbone

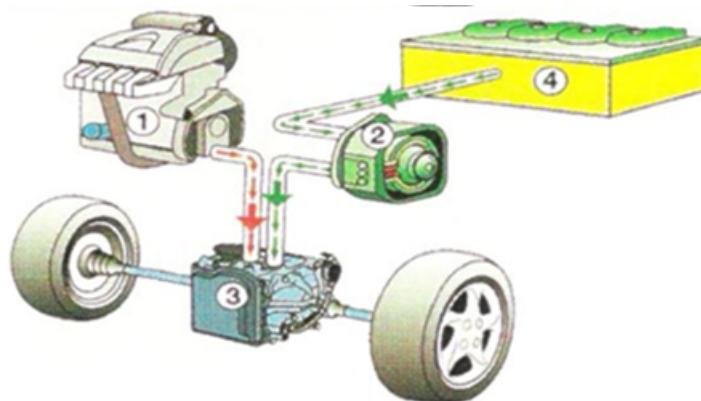
### Mode thermique seul



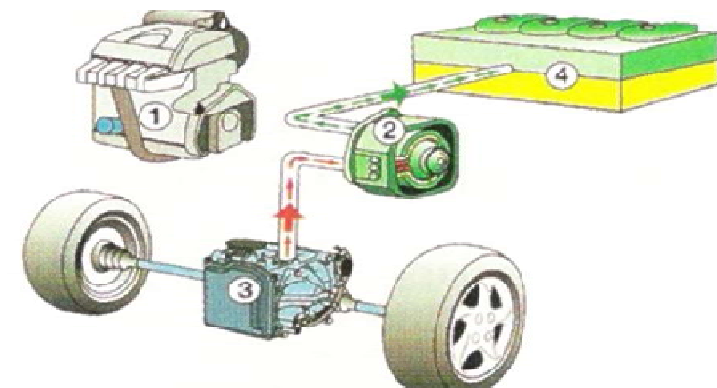
### Mode électrique seul



### Mode mixte



### Mode récupération et stockage



# L'alternateur

## Fabrication

Allègement  
Hydroformage

## Distribution

Poussoir hydraulique  
Distribution variable  
Camless

## Injection

Diesel HP  
Directe essence

## Remplissage

Turbulences  
Stratification  
Suralimentation

## Allumage

Twin spark

## Refroidissement

Pompe électrique  
Intercooler

## Hybridation

Principe  
Alternateur

## Dépollution

Post-traitement  
NOx  
Carbone



## Mild-Hybrid 48 Volt-Antriebsstrang

Mild hybrid 48 volt drivetrain  
05/17

DC/DC-Wandler  
DC/DC converter

12 Volt-Batterie  
12 volt battery

48 Volt-Batterie  
48 volt battery

3.0 TFSI Motor  
3.0 TFSI engine

48 Volt-Riemen-Starter-Generator  
48 volt belt-drive starter-generator



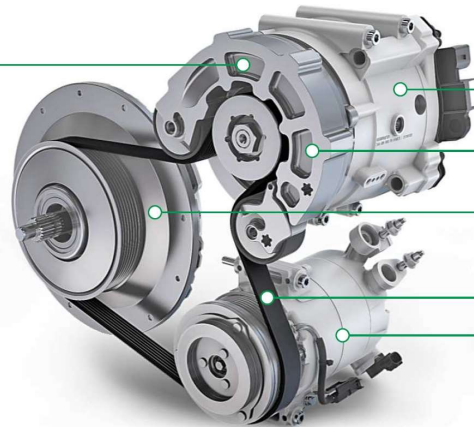
48 V E-machine

Decoupling tensioner

Drive train pulley

Belt

A/C compressor



# Post traitement

## Fabrication

Allègement  
Hydroformage

## Distribution

Poussoir hydraulique  
Distribution variable  
Camless

## Injection

Diesel HP  
Directe essence

## Remplissage

Turbulences  
Stratification  
Suralimentation

## Allumage

Twin spark

## Refroidissement

Pompe électrique  
Intercooler

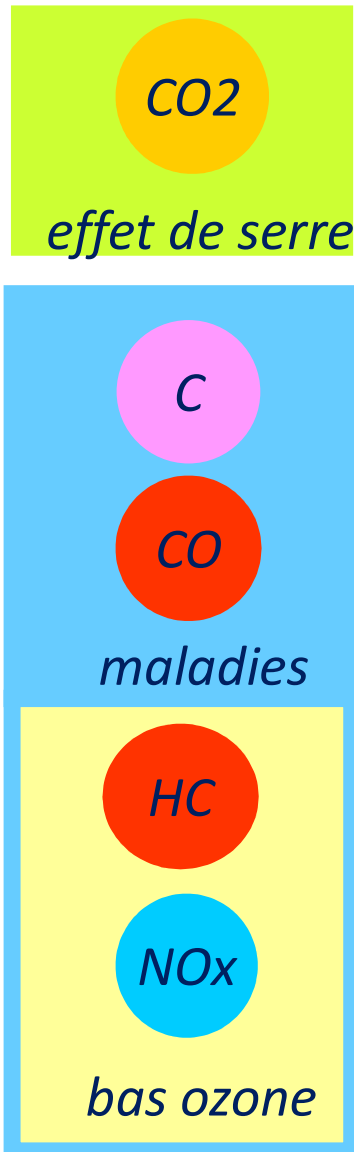
## Hybridation

Principe  
Alternateur-démareur

## Dépollution

Post-traitement  
NOx  
Carbone

A combattre



Améliorer rendement moteur  
(allègement, frottement diesel)

Particules de carbone,  
F.A.P.

Richesse diesel  $\searrow$ ,  
surplus d'oxygène pour oxydation  
en CO<sub>2</sub> et brûlage des HC

Apparaissent si  $T_{comb} > 2000\text{ }^{\circ}\text{C}$   
➤ abaisser  $T_{comb}$  par recirculation  
➤ recombinaison Nox avec de l'urée  
(catalyse sélective)



# Recirculation (EGR)

## Fabrication

- Allègement
- Hydroformage

## Distribution

- Poussoir hydraulique
- Distribution variable
- Camless

## Injection

- Diesel HP
- Directe essence

## Remplissage

- Turbulences
- Stratification
- Suralimentation

## Allumage

- Twin spark

## Refroidissement

- Pompe électrique
- Intercooler

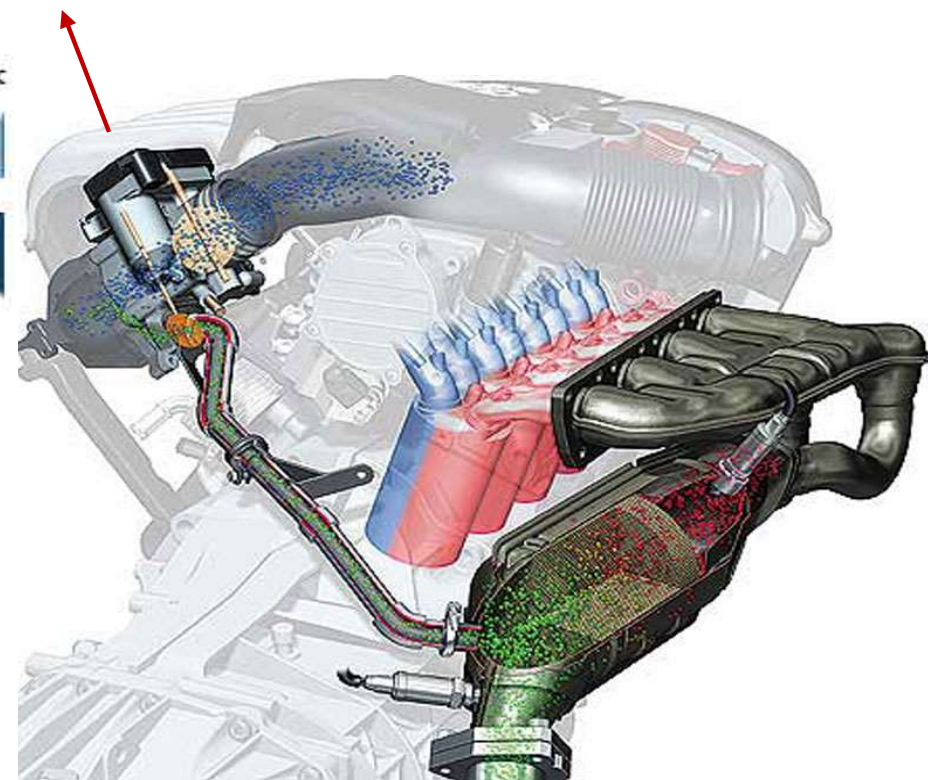
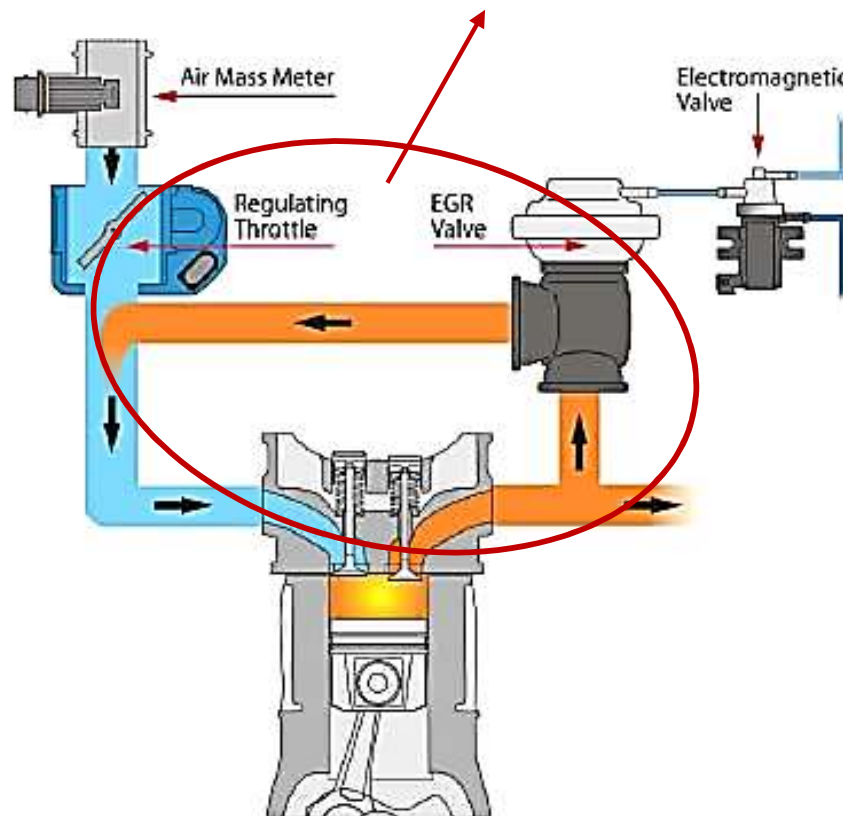
## Hybridation

- Principe
- Alternateur-démareur

## Dépollution

- Post-traitement
- NOx
- Carbone

## Boucle de recirculation



# Pot catalytique

## Fabrication

- Allègement
- Hydroformage

## Distribution

- Poussoir hydraulique
- Distribution variable
- Camless

## Injection

- Diesel HP
- Directe essence

## Remplissage

- Turbulences
- Stratification
- Suralimentation

## Allumage

- Twin spark

## Refroidissement

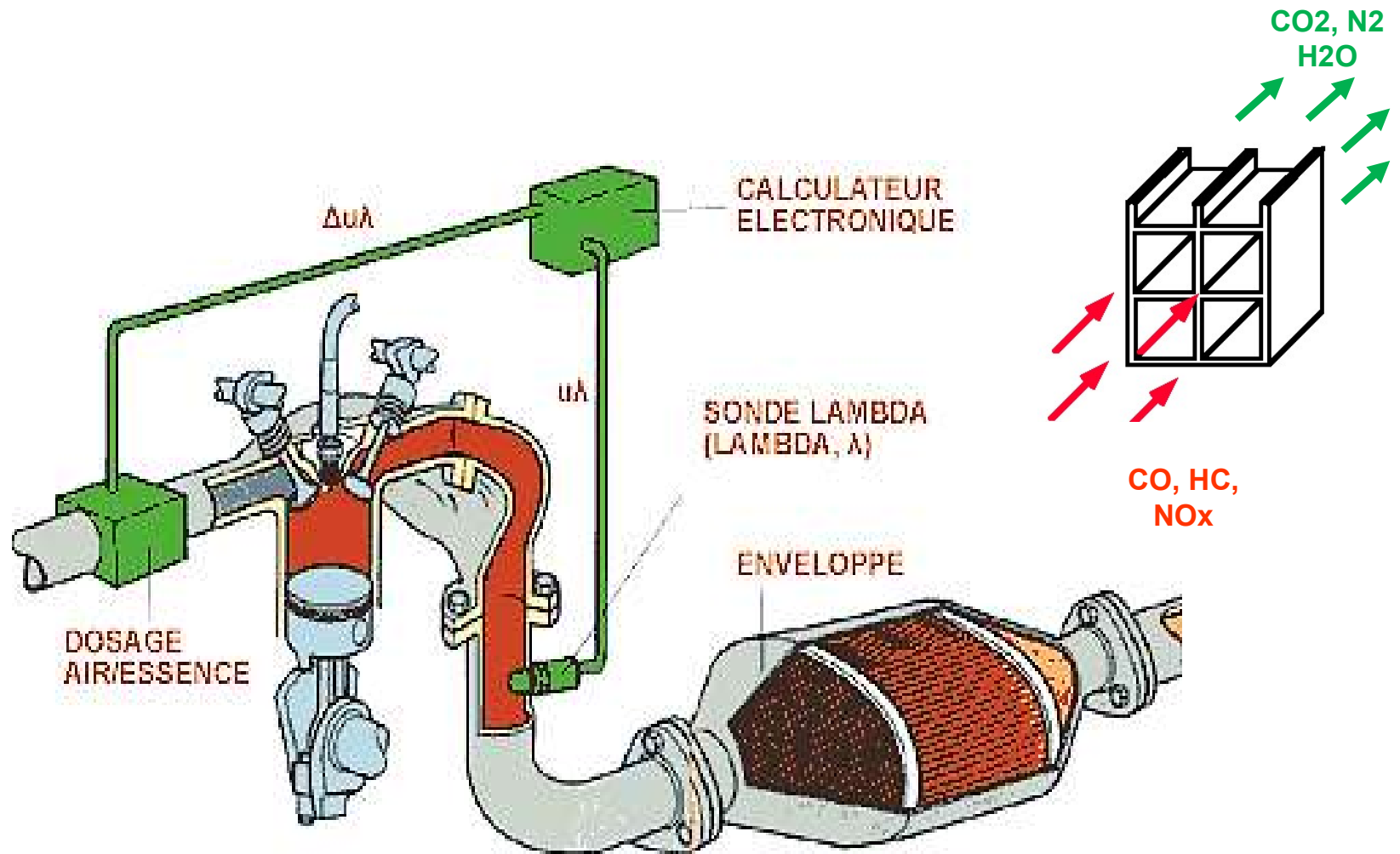
- Pompe électrique
- Intercooler

## Hybridation

- Principe
- Alterno-démareur

## Dépollution

- Post-traitement
- NOx
- Carbone



# Réduction Catalytique Sélective (RCS)

## Fabrication

Allègement  
Hydroformage

## Distribution

Poussoir hydraulique  
Distribution variable  
Camless

## Injection

Diesel HP  
Directe essence

## Remplissage

Turbulences  
Stratification  
Suralimentation

## Allumage

Twin spark

## Refroidissement

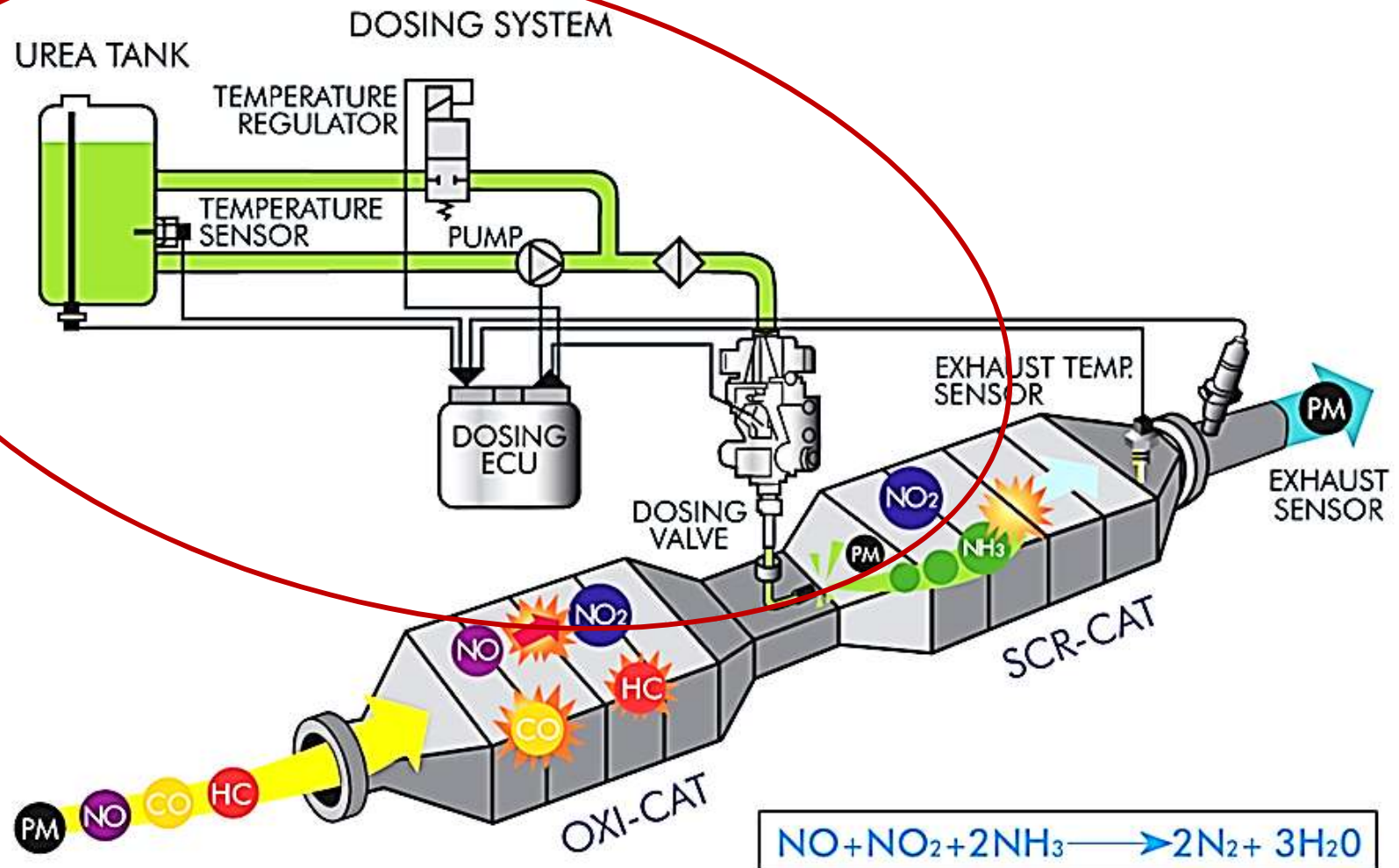
Pompe électrique  
Intercooler

## Hybridation

Principe  
Alternateur-démareur

## Dépollution

Post-traitement  
NOx  
Carbone





# Filtre à particules

## Fabrication

Allègement  
Hydroformage

## Distribution

Poussoir hydraulique  
Distribution variable  
Camless

## Injection

Diesel HP  
Directe essence

## Remplissage

Turbulences  
Stratification  
Suralimentation

## Allumage

Twin spark

## Refroidissement

Pompe électrique  
Intercooler

## Hybridation

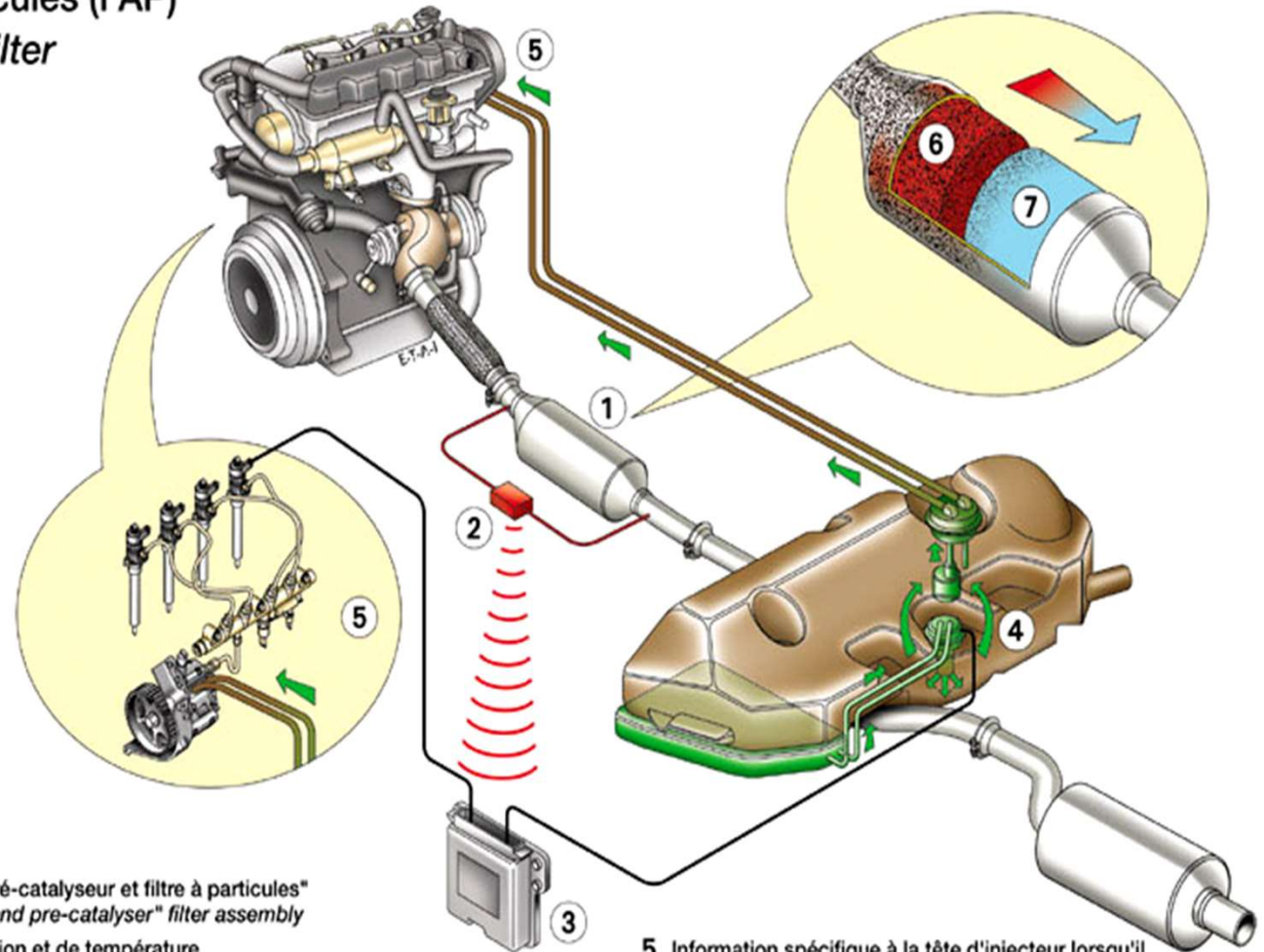
Principe  
Alternateur-démareur

## Dépollution

Post-traitement  
NOx

Carbone

## Filtre à particules (FAP) Particulate filter



1 Ensemble filtre "pré-catalyseur et filtre à particules"  
"Particulate filter and pre-catalyser" filter assembly

2 Capteurs de pression et de température  
Temperature and pressure sensors

3 Calculateur moteur  
Engine ECU

4 Injection de produit additif dans le gazole du réservoir principal si nécessaire  
Injection of an additive into the fuel in the main tank if necessary

5 Information spécifique à la tête d'injecteur lorsqu'il est nécessaire de réaliser de la post-combustion  
Specific information sent to the injector head when post-combustion is needed

6 Pré-catalyseur  
Pre-catalyser

7 Filtre à particules (F.A.P.)  
Particulate filter



# Une technologie d'avenir ?

## Fabrication

Allègement  
Hydroformage

## Distribution

Poussoir hydrauliq  
Distribution variab  
Camless

## Injection

Diesel HP  
Directe essence

## Remplissage

Turbulences  
Stratification  
Suralimentation

## Allumage

► Twin spark

## Refroidissement

Pompe électrique  
Intercooler

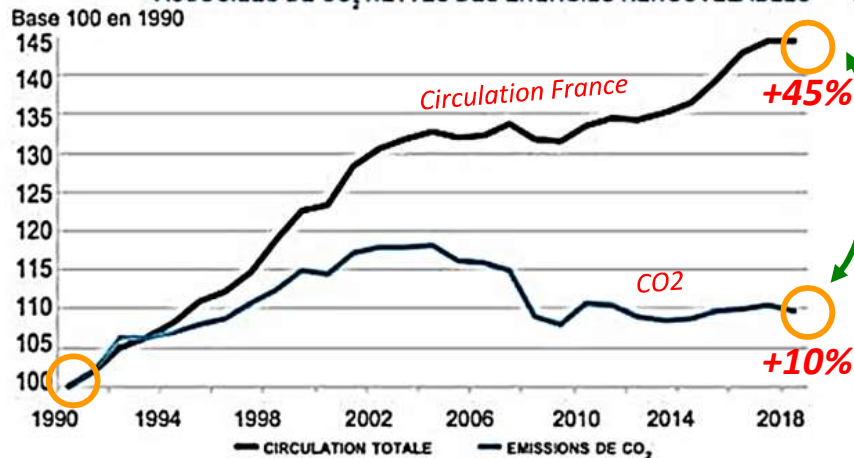
## Hybridation

Principe  
Alterno-démareur

## Dépollution

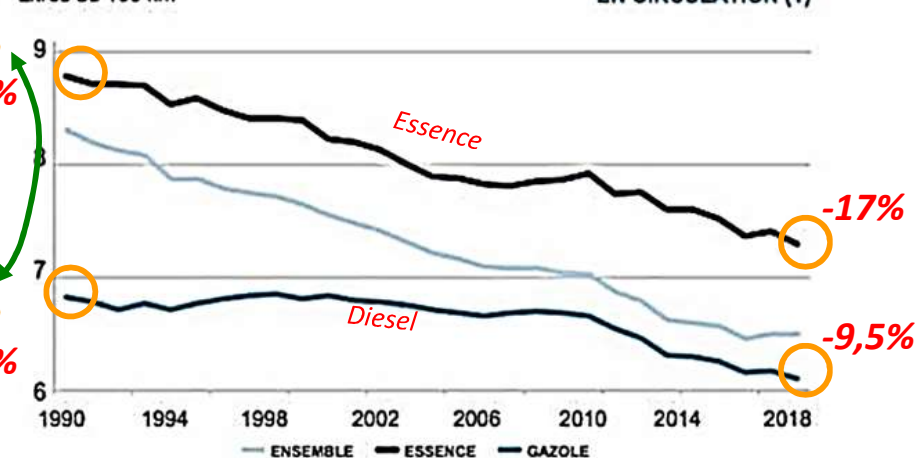
Post-traitement  
NOx  
Carbone

LA CIRCULATION DES VÉHICULES EN FRANCE ET LES ÉMISSIONS ASSOCIÉES DE CO<sub>2</sub> NETTES DES ÉNERGIES RENOUVELABLES



Sources : CITEPA, MTES/SDDES/CCTN

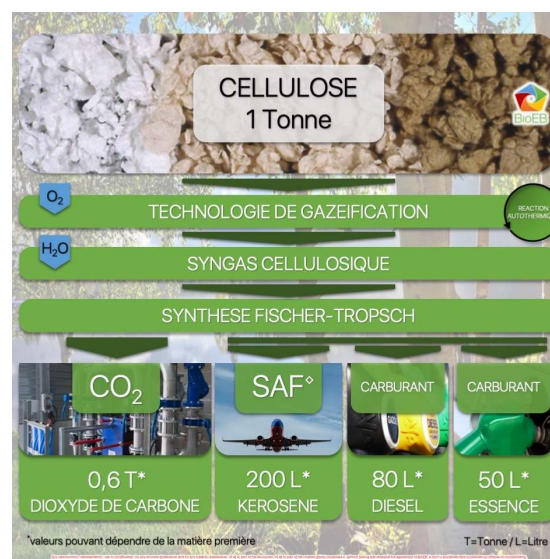
CONSOMMATION UNITAIRE MOYENNE D'UNE VOITURE PARTICULIÈRE EN CIRCULATION (1)



(1) La consommation unitaire incorpore les effets de surconsommation liés aux biocarburants.

Sources : MTES/SDDES/CCTN

Principe biocarburants  
seconde génération



Principe e-carburants

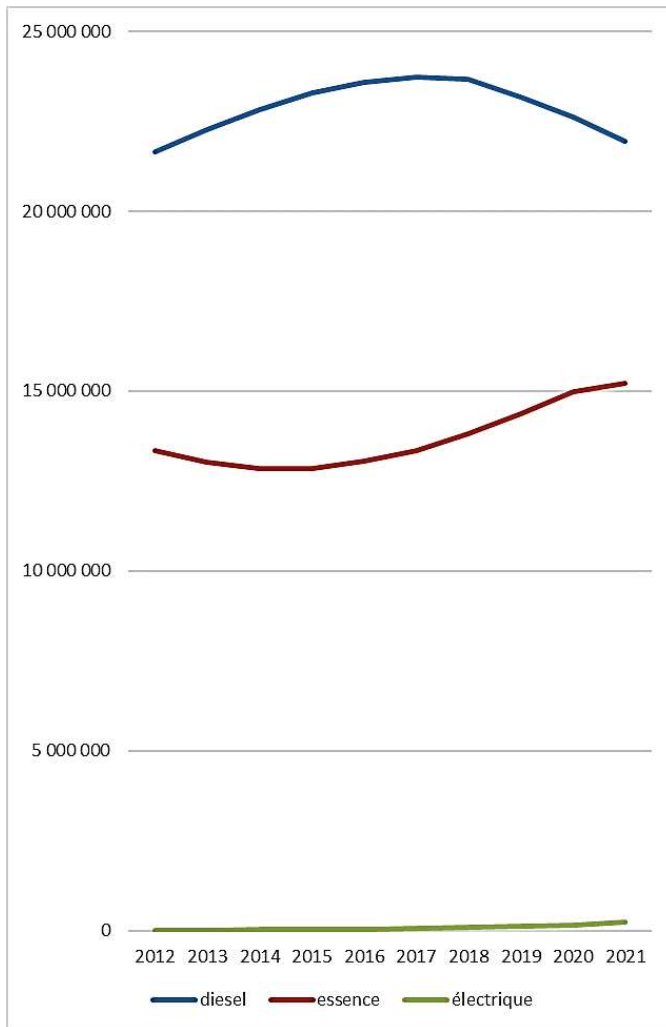
# Que veut l'Europe ?

*La Commission européenne a proposé en juillet 2021 d'interdire à partir de 2035 la vente de voitures neuves à essence ou diesel au profit des motorisations 100% électriques.*

*Cette proposition a fini par être validée sous conditions en 2023.*

*La Commission mise sur cette interdiction pour atteindre un transport complètement décarboné en 2050 (l'objectif de neutralité carbone de l'Europe), car une voiture reste environ 15 ans sur la route avant de partir à la casse.*

# Parc automobile français - évolution



*Le moteur à combustion représente 99,3% du parc automobile français en 2021.*



*Les immatriculations des véhicules électriques représentaient 14% des véhicules neufs vendus en France en 2021.*

*C'est 18% en 2023, soit 30 000 chaque mois.*



# Les défis

*Le véhicule électrique n'a de sens que dans le cadre d'une électricité décarbonnée.*

*Défi scientifique  
et technologique*

*Les prix des voitures électriques, est aujourd'hui bien plus élevés que ceux des thermiques.*

*Les investissements des constructeurs dans ce domaine sont très variables.*

*Défi sociétal  
et technologique*

*L'UE souhaite des points de recharge tous les 60 kilomètres le long des principales routes européennes.*

*Défi économique*

