

# S1 Description des systèmes et analyse des comportements

- S1.1 Analyse externe
  - Analyse fonctionnelle (fonctions de service)
  - Besoin à satisfaire par l'utilisateur.
  - Expression fonctionnelle du besoin.
  - Frontière d'une étude.
  - Fonctions de service (usage, estime), contraintes (sécurité).
  - Cahier des charges fonctionnel : caractéristiques des fonctions de service (critères, niveaux et flexibilité).

- S1.2 Analyse interne
  - Analyse fonctionnelles (fonctions techniques)
  - Déclinaison des fonctions de service en fonctions techniques : outil FAST.
  - Nature et flux des éléments transformés par le système : matière, énergie, information.

- S1.3 Outils descripteurs
  - Schémas (élec, méca, pneu, hydrau... Sysml)
  - Outils de représentation :
    - croquis à main levée (2D ou 3D) ;
    - lecture de plan (tous types) ;
    - maquette numérique (voir S2) ;
    - graphe de montage ou de démontage.
  - Outils de schématisation :
    - hydraulique, pneumatique, électrique ;
    - cinématique (voir S3).

## Modélisation des mécanismes

- Modélisation des mécanismes
  - Cinématique des liaisons mécaniques :
    - nature du contact (ponctuel, linéique, surfacique) ;
    - repère local, degré de liberté ;
    - modèle des liaisons mécaniques élémentaires ;
    - modélisation des liaisons technologiques en liaisons cinématiques (avec prise en compte des jeux, mobilités de faible amplitude, rigidité, frottement).
  - Description des chaînes de liaisons :
    - classe d'équivalence cinématique ;
    - graphe des liaisons ;
    - schéma cinématique (minimal ou architectural).
  - Associations de pièces et de liaisons :
    - liaison équivalente à une association de deux à trois liaisons en parallèle ou en série,
    - comportement des mécanismes (degré de mobilité, degré d'hyperstaticité, isostaticité).

(page suivante)

- S1.4 Analyse des comportements et performances

# S1 Description des systèmes et analyse des comportements

## S1.4 Analyse des comportements et performances

(page précédente)

(page précédente)

### Solutions constructives associées aux modèles liaisons

- Nature des liaisons obtenues.
- Solutions classiques avec éléments standard éventuels.
- Conditions et surfaces fonctionnelles (mise en position, maintien en position), influence sur la précision, la tenue aux efforts, la rigidité, ...
- Lubrification éventuelle.
- Étanchéité éventuelle.

#### Pour les solutions constructives suivantes :

- assemblage démontable ;
- assemblage permanent ;
- guidage en rotation par glissement ;
- guidage en rotation par éléments roulants ;
- guidage en translation par glissement ;
- guidage en translation par éléments roulants ;
- rotulage ;
- liaison hélicoïdale.

### Mouvements relatifs entre solides

dans le cas d'une translation ou d'une rotation au-tour d'un axe fixe

- Notion de référentiel et de repère.
- Nature et définition des mouvements : rotation, translation.
- Trajectoires des points du solide.
- Vecteurs position, vitesse et accélération.

### Mouvements plans

- Équiprojectivité du champ des vecteurs vitesse.
- Centre instantané de rotation (CIR) et distribution du champ des vecteurs vitesse.
- Composition des vitesses
  - loi de composition ;
  - méthode graphique pour des systèmes plans ;
  - applications au glissement et au roulement.
- Etude des chaînes cinématiques
  - lois d'entrée sortie.
  - tracé des trajectoires et positions d'un mécanisme ;

### Modélisation des actions mécaniques

- Action mécanique de contact et à distance :
  - modèles de représentation d'une action mécanique (force et résultante de forces, moment et moment résultant, cas particuliers des couples et glisseurs) ;
  - représentation graphique et analytique des vecteurs force et moment ;
  - notion de torseur ;
  - principe des actions mutuelles.
- Etude du contact entre pièces :
  - nature géométrique du contact ;
  - frottement et adhérence : lois de Coulomb ;
    - pression de contact et matage : cas ponctuels et linéiques simples : modèle de Hertz ;
    - cas surfaciques simples

(page suivante)

# S1 Description des systèmes et analyse des comportements

## S1.4 Analyse des comportements et performances

(page précédente)

(page précédente)

### Comportement mécanique des solides et des systèmes

- Isolement d'une pièce ou d'un système de solides.
- Principe fondamental de la statique : énoncé du principe en vue d'une résolution analytique, graphique ou logicielle.
- Identification des caractéristiques cinétiques d'un solide influant son comportement dynamique : centre de gravité, masse, moments d'inertie. Théorème de Huygens.
- Principe fondamental de la dynamique : énoncé du principe en vue d'une résolution analytique, graphique ou logicielle.
- Equilibrage :
  - équilibrage statique et dynamique d'un solide en rotation ;
  - équilibrage système bielle-manivelle des moteurs.
- Vibrations : approche expérimentale et logicielle, notion de fréquences propres (systèmes discrets et continus) :
  - mouvement libre non amorti et amorti ;
  - mouvement forcé non amorti :
    - sollicitation directe,
    - notions de déphasage et de résonance,
    - vitesse critique d'un arbre en rotation.
- Énergétique : théorème de l'énergie cinétique

### Modèle multiphysique associé au comportement d'un système

### Résistance des matériaux

- Hypothèses et limites de la résistance des matériaux.
- Efforts de cohésion dans une section droite. Diagrammes d'effort normal, tranchant, moments de torsion et de flexion.
- Sollicitations simples (traction/compression, torsion, flexion, cisaillement) :
  - contraintes normales, tangentielles ;
  - Influence du moment quadratique sur le comportement d'un solide ;
  - déformation ;
  - effets thermiques (dilatation) ;
  - condition de résistance (coefficient de sécurité, concentration de contrainte, limite élastique, limite de fatigue...).
- Sollicitations composées :
  - flexion-traction/compression et flexion-torsion d'arbres de section circulaire ;
  - contrainte équivalente ;
  - notion de flambement.
- Exploitation de résultats de simulation et/ou mise en œuvre d'un logiciel volumique intégrant un module d'élément finis.

### Mécanique des fluides

- Statique des fluides :
  - loi de l'hydrostatique ;
  - théorème de Pascal ;
  - théorème d'Archimède.
- Dynamique des fluides incompressibles :
  - conservation de la masse : équation de continuité ;
  - théorème de Bernoulli ;
  - nombre de Reynolds : régimes laminaires ou turbulents ;
  - pertes de charges régulières et singulières ;
  - choix d'organes hydrauliques.
- Dynamique des fluides compressibles :
  - équation de Barré de St Venant ;
  - application aux tuyères, nombre de Mach.

### Régulation / asservissement

- Généralités
  - Structure d'un système asservi.
  - Qualités d'un système.
  - Définition et caractéristiques de régulation type P, PI, PID.
- Régulation et correcteurs PID
  - Exemple typique de la régulation de température ;  $K_p$ ,  $T_I$ ,  $T_d$ , RPM, BP.
  - Méthodes expérimentales de réglage.
- Asservissements dans les contrôles moteur
  - Schéma-blocs typiques, configuration des blocs.
  - Boucles d'état.



# S2 Chaîne d'énergie

## S2.5 Conversion

### Thermique

#### Conversion et optimisation de l'énergie

#### La combustion

##### Exploitation de l'équation bilan

- Stoechiométrie
  - concentration molaire en gaz secs et humides
  - dosage, Richesse, A/F, lambda
- richesse différente de 1
  - calcul de la richesse à partir des concentrations : bilan carbone, 5 gaz, compatibilité.

##### analyse descriptive des combustions

- Point de vue chimique
  - Energie de combustion :
    - enthalpie de réaction, définition du PCI, PCS ;
    - énergie potentielle par unité de volume de mélange.
  - Potentiel d'émission de CO2
    - calcul en g.kJ-1;
    - valeurs typiques pour les carburants usuels, bilan du « réservoir à la roue », du « puits à la roue ».
- Point de vue physique
  - Typologie (définition) des combustions
    - pré mélange ;
    - diffusante ;
  - Vitesse de combustion
    - notions de cinétique de combustion : étapes élémentaires, rôle des radicaux libres, Vitesses laminaire et turbulente ;
    - déroulement typique d'une combustion en mélange homogène, propagation par diffusion thermique et chimique (radicaux) ;
    - conditions d'inflammabilité, couche limite, coincement de flamme.
- Point de vue motoriste
  - configuration moteur : rapport volumétrique, forme de chambre de combustion...
  - réglage moteur : avance, richesse, dilution ;
  - paramètres d'exploitation : charge, régime.

##### facteurs d'influence

- configuration moteur : rapport volumétrique, forme de chambre de combustion...
- réglages moteur : avance, richesse, dilution ;
- paramètres d'exploitation : charge, régime, carburant.

##### Combustions anormales

- Cliquetis
- autres : pré-allumage, rumble.

##### Spécificités

- Diesel
  - phases de la combustion ;
  - gradient de pression, bruit, contraintes mécaniques ;
  - facteurs d'influence :
    - taux d'introduction ;
    - aérodynamique interne : swirl, chasse ;
    - analyse du délai ;
    - incidence des réglages de fractionnement et de phasage injection.
- Charge stratifiée
  - typologie des stratifications ;
  - évolution du dégagement d'énergie ;
  - incidence des réglages de fractionnement et de phasage injection.
- « flameless », CAI, HCCI
  - principes généraux ;
  - contrôle de la combustion par la dilution

#### Cycles moteurs

#### Thermodynamique

- Notions de bases
  - système matériel, milieu extérieur et échanges énergétiques ;
  - transformations thermodynamiques ouvertes, réversibles, irréversibles ;
  - transformations caractéristiques ;
  - notion de travail et de quantité de chaleur.
- Premier principe
  - énoncé ;
  - énergie interne, état initial, état final ;
  - loi de Joule.
- Phases d'un corps pur
  - diagramme de Clapeyron ;
  - changement d'état d'un corps pur ;
  - chaleur latente de vaporisation, titre de mélange liquide / vapeur. Point d'ébullition
- Les gaz parfaits
  - lois de Mariotte, Gay Lussac, Charles ;
  - équation caractéristique des gaz parfaits ;
  - chaleurs massiques, coefficient de Poisson ;
  - calcul de variation de l'énergie interne ;
  - mélange des gaz parfaits (pression partielle).
- Conservation d'énergie pour un système ouvert :
  - notion et définition de l'enthalpie ;
  - travail de transvasement ;
  - application à l'analyse d'un champ turbo ;
  - application à la suralimentation et échangeurs

(page précédente)

(page suivante)

(page suivante)

(page suivante)

(page suivante)

(page suivante)

# S2 Chaîne d'énergie

(page précédente)

## S2.5 Conversion

(page suivante)

### Thermique

(page suivante)

### Conversion et optimisation de l'énergie

(page précédente)

#### Cycles moteurs

(page précédente)

#### Outils d'analyse

#### Chaîne des rendements

#### Optimisation énergétique

#### Emissions

#### Emissions du puits à la roue

- notion de cycle, travail échangé, cycle moteur et cycle récepteur ;
- les principaux cycles théoriques des moteurs à combustion interne ;
- évolutions polytropiques, comparaison avec les cycles réels ;
- évaluation des rendements thermodynamiques
- Comparaison des rendements à iso rapport volumétrique, iso pression maxi, iso masse de gaz).

- Nomenclature des pertes (levée des hypothèses entre le Beau de Rochas et le cycle réel).
- Définition, calcul de :
  - travail indiqué, indiqué BP et HP ;
  - pressions moyennes Indiquées (BP, HP) ;
  - estimation PMIBP par le différentiel de pression échappement-admission.

- loi dégagement d'énergie, fraction brûlée ;
- définition, tracé, unités (valeurs relatives, en énergie) ;
- principe de calcul (premier principe) ;
- pertes de chaleur aux parois ;
- exploitation : CA (crank angle) caractéristiques, HLC, délai, durée de combustion.

- Bilan énergétique du moteur
- Pertes mécaniques
  - définition des pertes en termes de couple, d'énergie (PMF) ;
  - méthodes de détermination ;
  - valeurs typiques ;
  - facteurs d'influence : température, régime, lubrifiants, architecture moteur.
- Définition des rendements partiels et du rendement effectif
  - de combustion ;
  - de forme ;
  - mécanique ;
  - indiqué, indiqué HP.
- Chaîne des rendements

- Adaptation du moteur à sa machine d'exploitation
  - Equation de résistance à l'avancement, loi hélice, autres charges.
  - Paramètres permettant l'adaptation du moteur sur des critères de consommation et ou de pollution
- Cogénération
  - Centrale à cogénération : définition, rendement global d'installation
- Optimisation des énergies électrique / thermique
  - Modes de gestion de l'énergie électrique-thermique

- Caractéristiques des polluants réglementés
  - Impact des polluants sur la santé et l'environnement.
  - Limites d'émissions en cours et à venir.
- Conditions de formation des polluants à la source
  - Aspects chimiques et physiques.
  - Diagramme de Pishinger.
- Facteurs d'influence sur les émissions à la source
  - Configuration moteur : rapport volumétrique, géométrie de la chambre.
  - Configuration système injection : position injecteur, atomisation.
  - Paramètres de réglage : avance à l'allumage, à l'injection, richesse, dilution.

- Techniques de réduction des polluants
  - A la source
  - Post-traitement
    - Trifonctionnel
      - équations chimiques de base ;
      - structure du pot catalytique ;
      - typologie et action des catalyseurs ;
      - efficacité et facteurs d'influence, critère de mise en action ;
      - notion « d'OSC » : définition, mesure.
    - Particules
      - constitution d'un FAP et des systèmes associés ;
      - stratégies de régénération, avec et sans additif
    - Spécifique NOx
      - constitution ;
      - principe de fonctionnement, stratégies pour déNox et SCR
    - Association des éléments de post-traitement
      - influence de l'ordre des éléments sur l'efficacité ;
      - choix et stratégies d'association des éléments

- Contraintes environnementales
- Cycle de vie d'un produit
- Caractérisation des impacts environnementaux :
  - épaulements des ressources ;
  - effets nocifs sur le climat, l'atmosphère ;
  - pollution (air, eau), toxicité ;
  - production de déchets

# S2 Chaîne d'énergie

(page précédente)

(page précédente)

S2.5 Conversion

(page suivante)

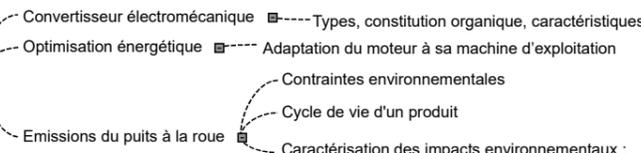
## Thermique

### Les différentes fonctions

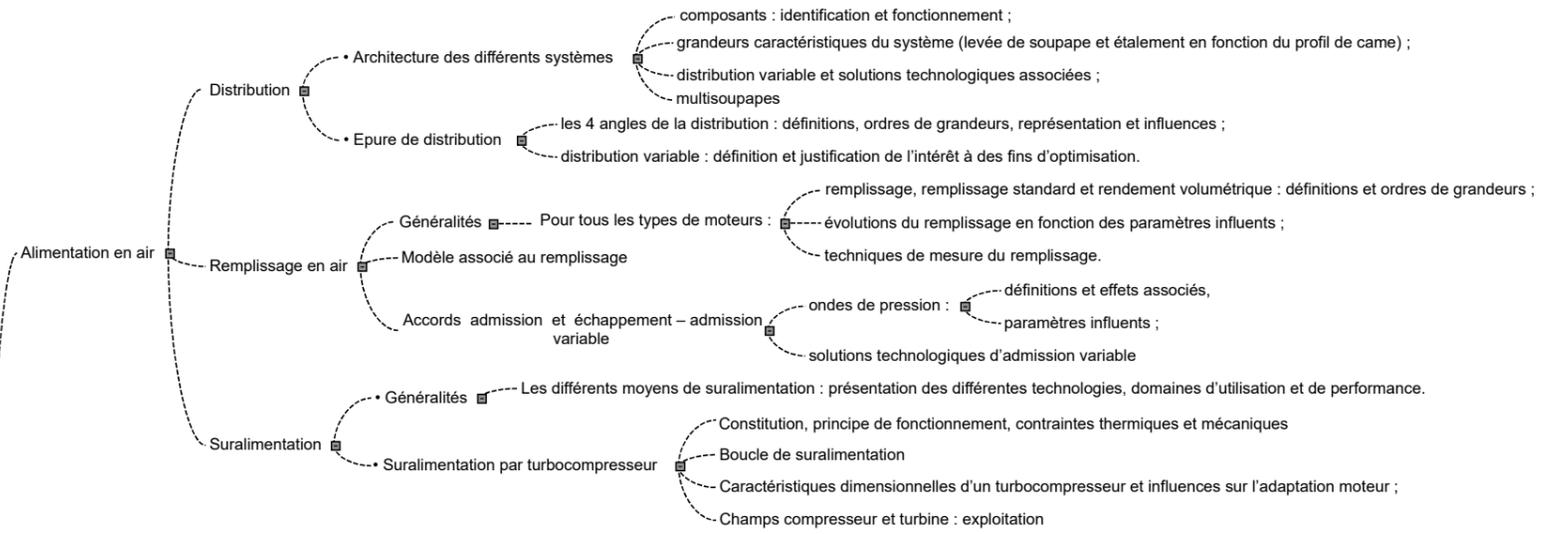
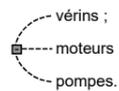


### Architecture moteur

## Electrique



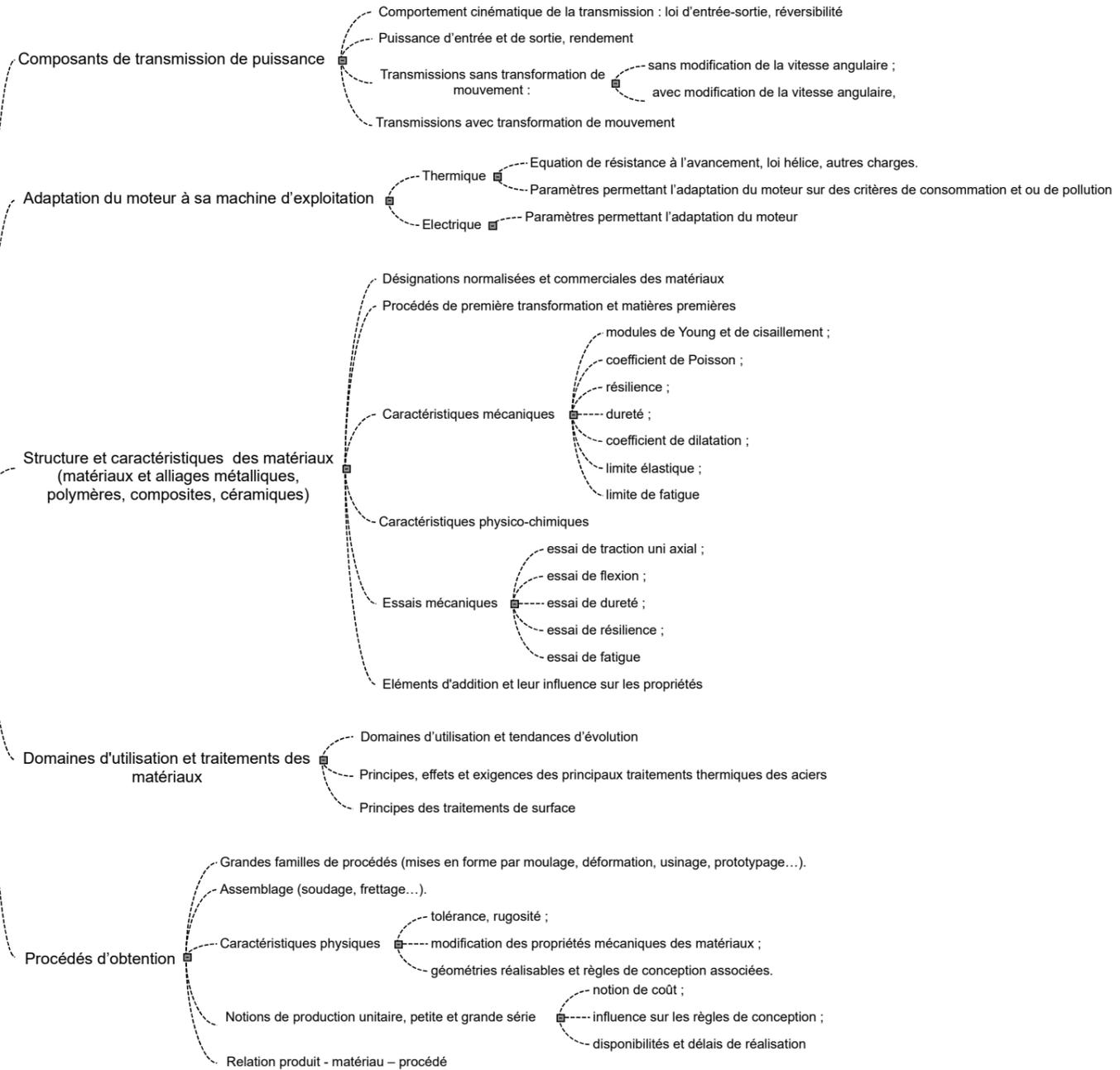
## Pneumatiques et hydrauliques



## S2 Chaîne d'énergie

(page précédente)

### S2.6 Transmission / adaptation



# S3 Chaîne d'information

## S3.1 Acquisition de données

Principes généraux d'une chaîne d'acquisition de données

- Grandeurs caractéristiques d'entrée et de sortie
- Capteur, conditionneur, convertisseur.
- Mesurande, étendue de mesure, sensibilité, linéarité.
- Étalonnage, zéro, pleine échelle.

Nomenclature des grandeurs physiques mesurées et capteurs associés

Principes physiques, conditions d'utilisation et de montage (mise en œuvre), caractéristiques de sortie, critères de choix, disponibilité

- température
- pression
- débit
- Régime et position

Qualité des mesures

- Étalonnage
- Analyse de la précision / erreur, incertitudes, répétabilité, reproductibilité.

Généralités

- Systemes de numération : bases binaire décimale et hexadécimale, conversion entre bases.
- Fonctions logiques
- Conversion analogique / numérique
- Structure des cartographies, interpolation double.
- Conversions grandeurs physiques / variables calculateur.

Architecture calculateur émulé

- Structure et caractéristiques (variables RAM et ROM, micro-processeur...)
- Outils de pilotage et de communication du contrôle moteur.
- Configuration et utilisation (mesures, calibrations, enregistrements, gestion de base de données).

## S3.2 Traitement des données / gestion motorisation

Langage de description des stratégies de contrôle moteur

- Schémas blocs (lecture et écriture)
- Programme (code)
- Paramètres : type et rôle dans la stratégie

Stratégies de gestion de la motorisation / structure couple

- Structure couple : principe, application moteur essence et moteur diesel.
- Pour chaque stratégie étudiée :
  - identification des paramètres d'entrée, interne, de calibration, de sortie ;
  - prise en compte et influence des grandeurs calibrables sur la réponse moteur et les émissions.

diagnostic (EOBD) et sûreté de fonctionnement

Configuration

- Projet de MAP/ logiciel de MAP/gestion des BDD
  - Fichier descripteur, fichier calibration.
  - Page de travail, page de référence.
  - Environnement de travail, écrans d'interface.
  - Méthodes de découpage et d'assemblage de calibrations.
- Paramétrage de l'acquisition

## S3.3 Communication des données

Outils de communication

Exploitation des fonctions du logiciel de MAP

Procédés de communication entre systèmes

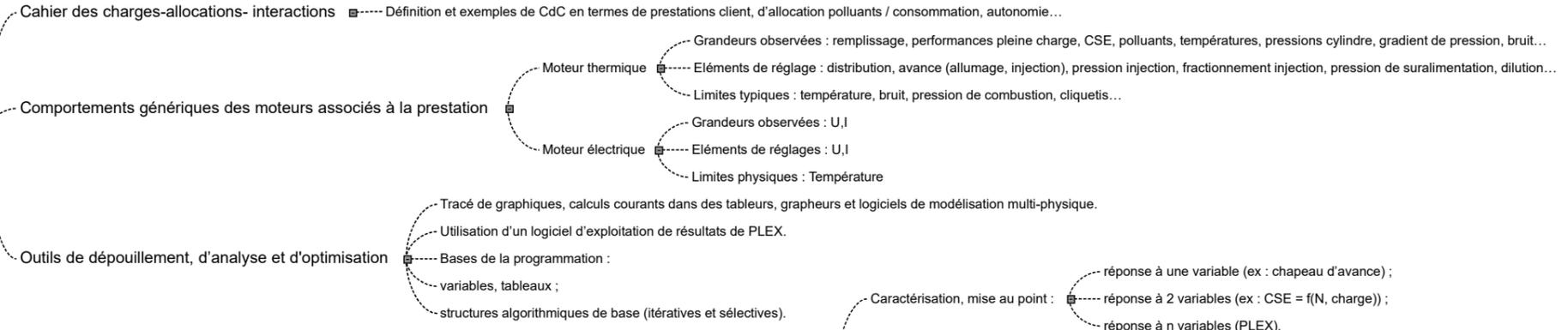
- Typologie des bus de communication entre les systèmes
- Liaison série, bus CAN, LIN...messaging (databases).
- Hiérarchie calculateurs (calculateur superviseur hybridation)

Commande des actionneurs

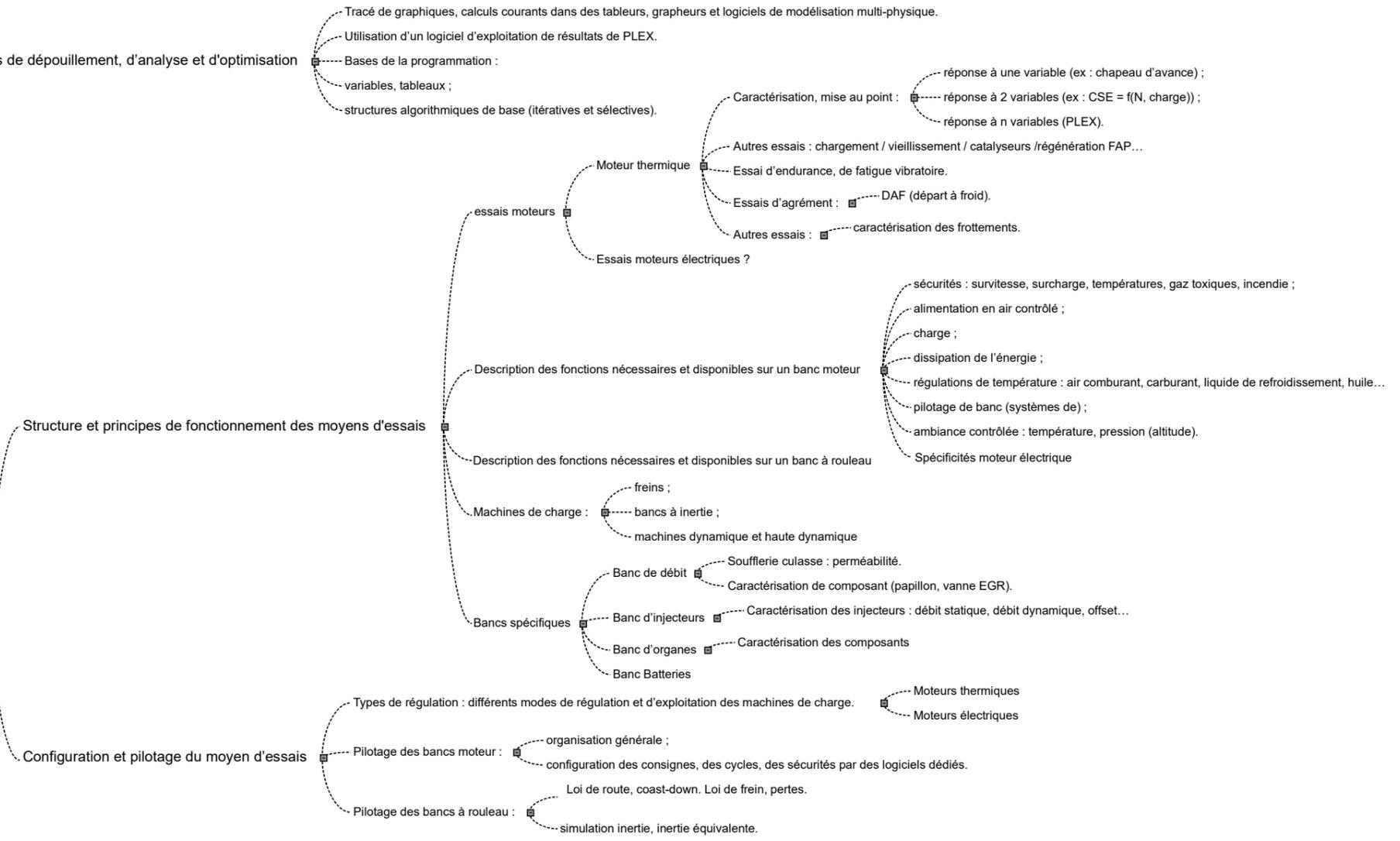
- PWM
- Analogique
- Fréquentielle
- TOR
- Numérique

# S4 Mise au point et moyens associés

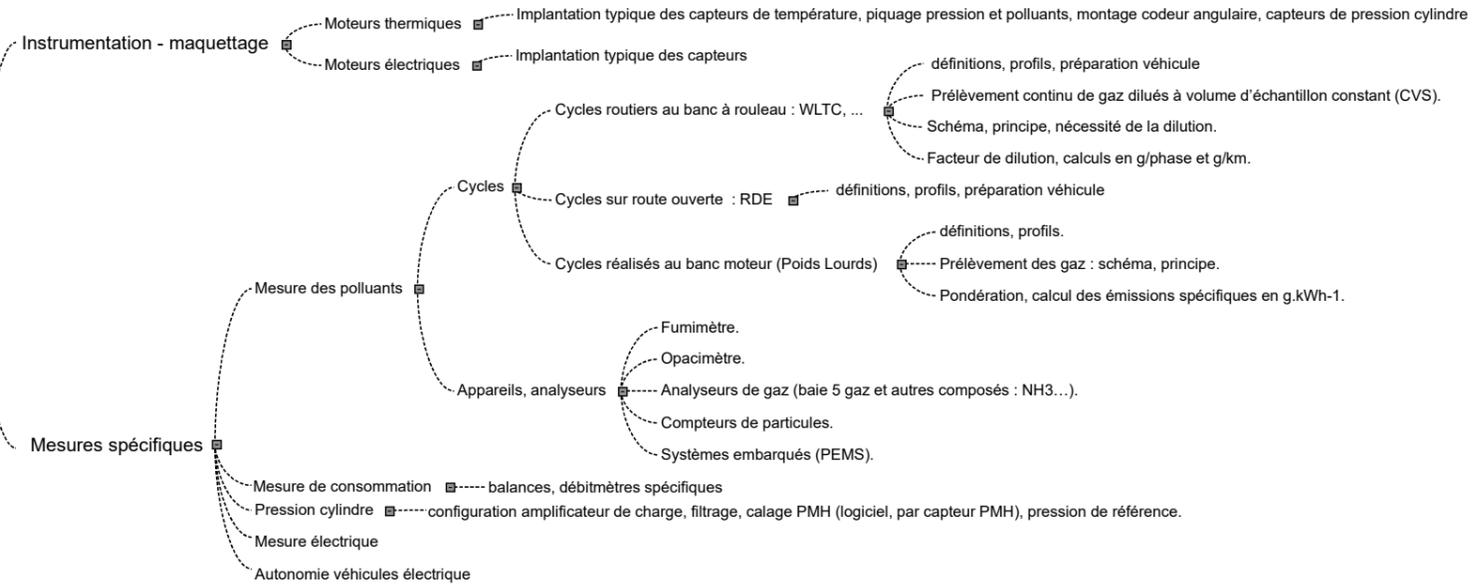
## S4.1 Mise au Point



## S4.2 Typologie des essais



## S4.3 Mesures



# S5 Maintenance et expertise

S5.1 Stratégie de maintenance  Préventive/Curative

S5.2 Intervention  Constitution et description des différents sous-système d'une motorisation  
Définition technique  
Contrôles de conformité

S5.3 Diagnostic / Expertise  Méthodes de diagnostique  Démarche  
Quantification et Caractérisation des écarts (ordre de grandeur, tolérance, justesse, précision...)

Motorisation et périphériques  Métrologie et procédés de mesure  Spécification des pièces et des montages  Tolérancement dimensionnel  
Spécifications géométriques  forme,  
orientation,  
position,  
battement  
Expression des spécifications d'état de surface  
Mesure : Dans le cadre de la vérification de la définition technique d'un moteur ou d'une expertise moteur  Methodologies et moyens de mesures dimensionnelles et géométriques  
Endoscopie, Contrôle visuel, état de surface et usure  
Contrôle fonctionnel

Contrôles énergétiques  
Contrôles mécaniques

Moyens d'essai  Plans de surveillance  
Dépouillement de 1er niveau

