

# Cahier des Charges

Projet 2AA :

## Prothèse de main

**Elèves apprentis :**

BROCHAIN Alexis

FONTAINE Pierre

TOURASSE Hugo

**Enseignant :**

M. Wolff



## Sommaire :

1. Objectif, contexte et mécanisme
2. Interfaces client / produit
  - a. Interaction utilisateur / base de donnée / CAO
  - b. Esquisses des aperçus des interfaces WEB ou VBA
3. Assemblage
  - a. Diagramme bête à corne
  - b. Graphe des interactions / diagramme pieuvre
  - c. Définition des fonctions principales et contraintes
4. Esquisses filaires
  - a. Schémas cinématique
  - b. Schémas électrique
5. Esquisses des configurations
6. Propositions et stratégies de conception
7. Dimensionnement
  - a. Définition des objectifs du mécanisme
  - b. Définition des conditions aux limites à appliquer sur le mécanisme
  - c. Mesure par la méthode des éléments finis
  - d. Dimensionnement
8. Planning prévisionnel
9. Tables des illustrations
10. Sources

# 1. Objectif, contexte et mécanisme

## Objectif :

Grâce à des outils de CAO (Conception Assistée par Ordinateur), tel que Catia V5, le but fixé de ce projet est de réaliser une modélisation d'un assemblage de pièces avec une organisation efficace. Cet assemblage devra être flexible prenant en compte la rapidité et la réutilisation de l'assemblage.

Cette modélisation devra comporter au minimum une vingtaine de pièces. Cet assemblage se doit d'être paramétrique et évolutif. Ces différents paramètres seront contrôlés par une feuille Excel (règles de conception) et/ou une base de données qui communiqueront avec une interface WEB et/ou VBA.

## Contexte :

Nous sommes un groupe de trois apprentis ingénieurs à l'InSIC (BROCHAIN Alexis, FONTAINE Pierre, TOURASSE Hugo).

Nous avons pris part à un projet de CAO durant notre deuxième année d'école d'ingénieur.

Pour ce projet, nous souhaitons concevoir une prothèse de main pour des personnes voulant retrouver l'usage de sa main (tel que la figure 1) mais en proposant un large panel de possibilités d'utilisation.

Nous allons concevoir une prothèse de main à l'intention de personnes amputées au niveau de l'avant bras, nous voulons leur proposer de retrouver une mobilité adéquate.



Figure 1 : portrait d'un homme amputé de l'avant bras

## Mécanisme :

Cette prothèse de main devra être totalement paramétrable avec de nombreuses possibilités d'utilisations. Celle-ci, se décompose en 2 ensembles mécaniques et 1 sous ensemble mécanique tout en comprenant des sous ensembles électroniques :

- Un ensemble poignet :
  - Base standard adaptable aux différents type de mains
  - Paramétrable en fonction de la taille choisie et de l'amputation.
  - Proposition d'une fixation au moignon (vis, sangles...)
  - Ce sous ensemble se décompose en :
    - Une gamme "rigide" avec 1 degré de liberté (1 rotation dans l'axe du bras)
    - Une gamme "comfort" avec 2 degrés de liberté (2 rotations)
- Un ensemble main :
  - Un sous ensemble main 3D / type main humaine

- Choix de matériaux (carbone, aluminium, titane)
- 5 doigts (3 pivots/doigt)
- Doigts amovibles qui forment un sous ensemble
- Possibilité de fixer à la place des doigts : un tournevis (plat/cruciforme/torx), des clefs, un tire-bouchons...
- Un ensemble main 2D / type pince
  - 2 pivots
  - Type de design / forme des pinces

Cette prothèse de main intègre des possibilités d'option :

- Type et taille de doigts
- Intégration d'outils
- Type de chargement (USB / type C / induction / solaire)
- Modularité des composants
- Types de rigidité des cerveaux moteur (couple)

Cette prothèse sera composée globalement de :

- Enveloppe de la forme d'une main ou d'une pince
- 1 servomoteur par degré de liberté en rotation soit 16 ou 17 servomoteurs suivant la configuration
- Une carte de contrôle (Raspberry pi ou Arduino) qui enverra la commande aux cerveaux moteurs grâce à l'interprétation des signaux des capteurs
- Des capteurs (électrodes) sur le bras pour la récupération de l'information du mouvement de l'utilisateur
- Des batteries
- Chaque main se décompose en 2 type de servomoteur avec :
  - Serrage puissant
  - Serrage moyen

Ce projet porte donc sur l'étude de la conception mécanique d'une prothèse. Elle a pour but de retrouver l'usage du membre amputé tout en offrant des possibilités d'utilisations additionnelles. L'intégration des composants électriques sera une autre partie qui permettra de faire le lien entre les signaux des capteurs et les mouvements de la prothèse. L'encombrement de ces composants sera cependant pris en compte.



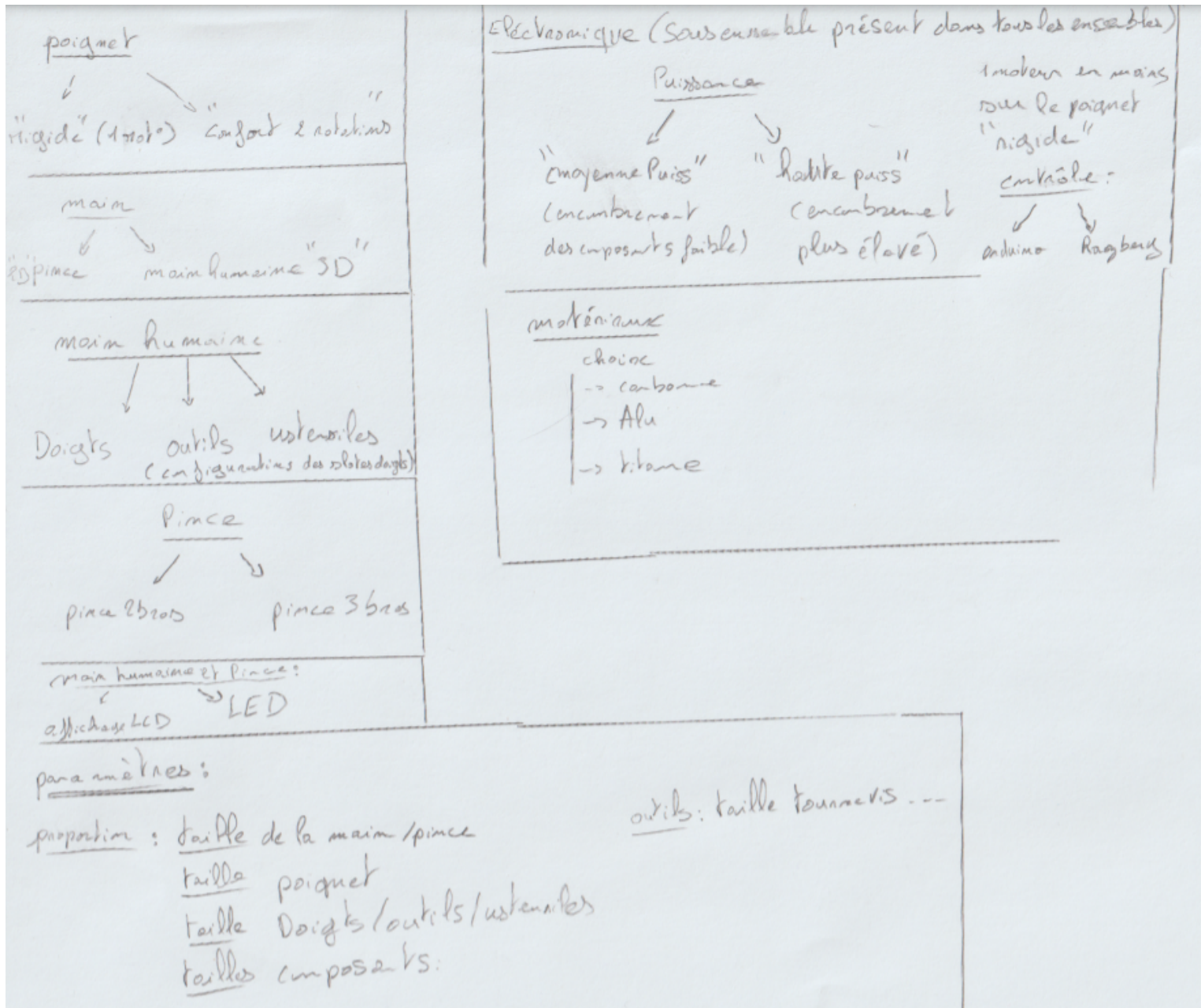


Figure 2 : liste de configurations

Ci-dessus, sur la figure 2, nous pouvons visualiser les différents ensembles sous forme de liste. Cela permet une compréhension rapide des différents éléments.

## 2. Interfaces client / produit

### a. Interaction utilisateur / base de donnée / CAO

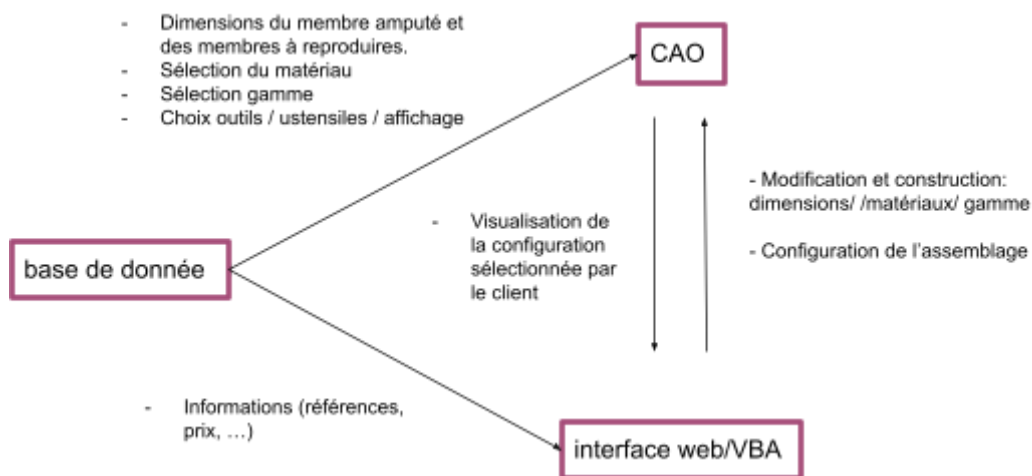


Figure 3 : interactions site / CAO / base de données

La figure ci-dessus met en évidence les différentes interactions entre le site WEB/VBA, le logiciel de conception et la base de données avec toutes les informations qui transitent.

#### Informations d'entrées :

- Présentation du projet prothèse main,
- Souhaits de l'utilisateur à partir du large choix proposé au sein du site web (type de configuration, type d'outils, nombre de mouvements),
- Insertion des informations personnelles du client permettant une conception adaptée (localisation de l'amputation, mensurations).

#### Informations de sortie :

- Présentation de la configuration retenue par le client,
- Coordonnées de commande à renseigner,
- Sortie de la facture,
- Proposition de prise de rendez-vous par un professionnel de santé.

Nous avons réalisé un diagramme pieuvre concernant le site WEB ou VBA comme le montre la figure 4.

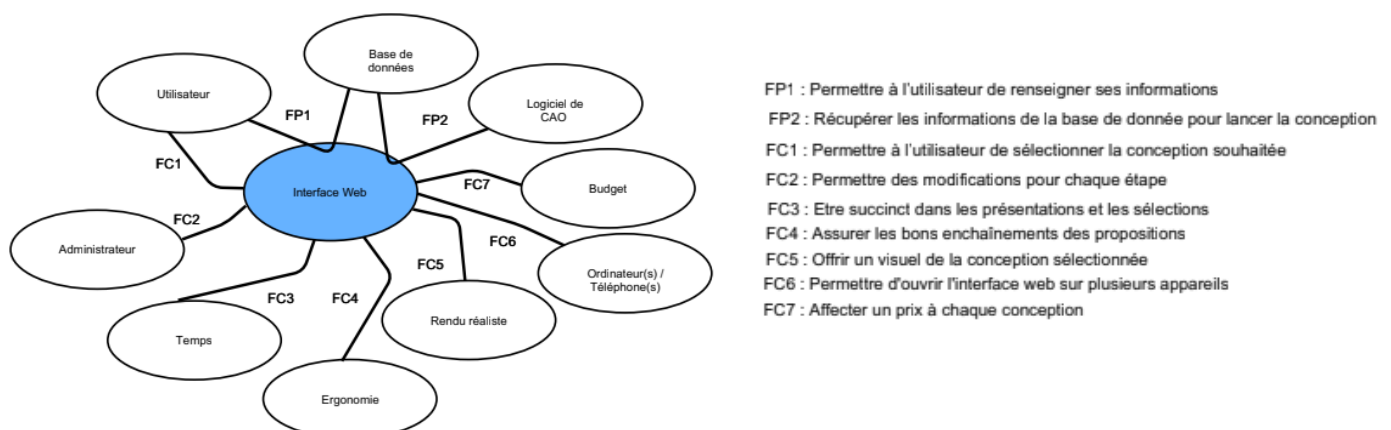


Figure 4 : diagramme pieuvre WEB / VBA

## b. Esquisses des aperçus des interfaces WEB ou VBA

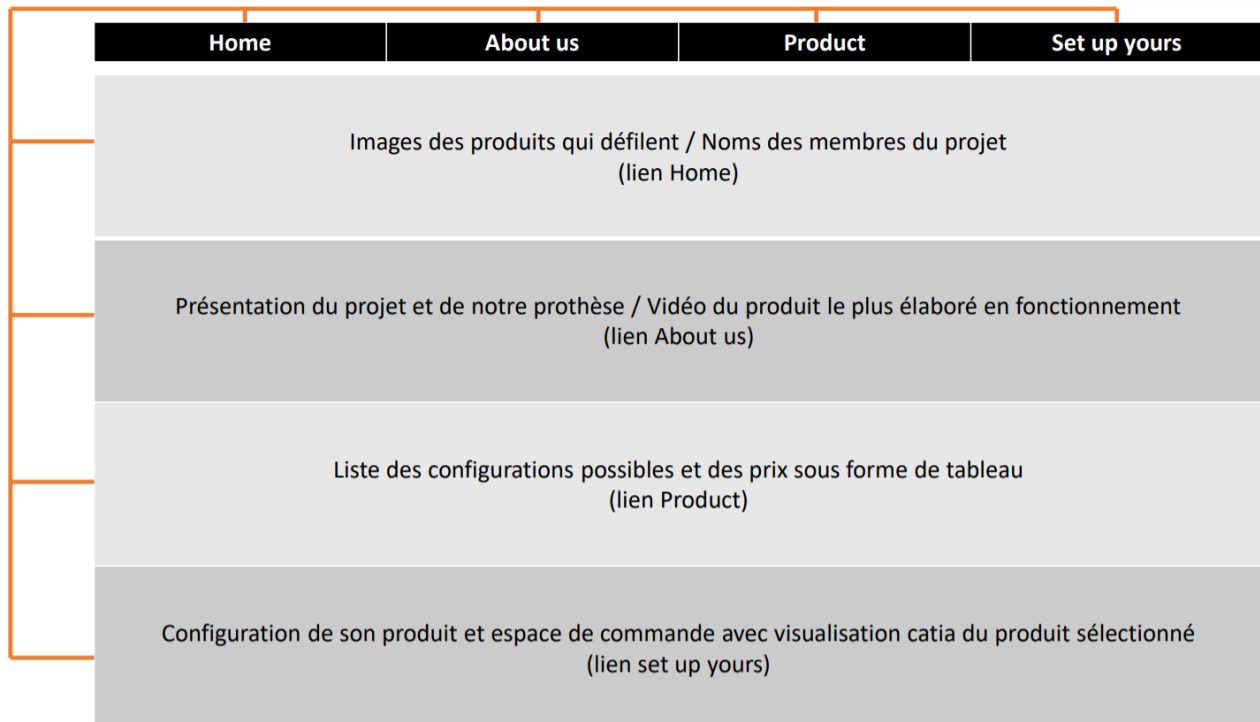
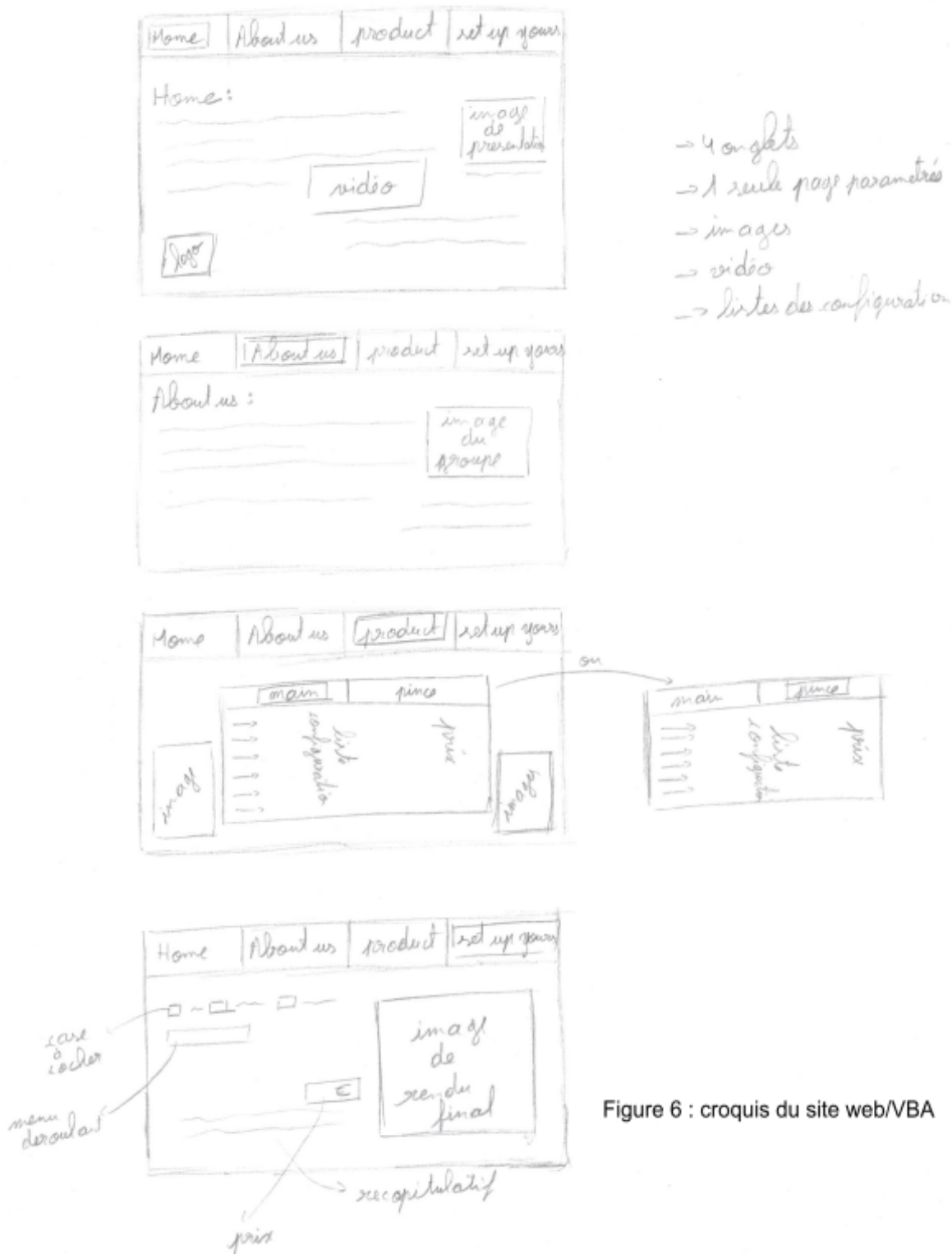


Figure 5 : visualisation du site web/VBA

Le site sera sous forme d'une page web ou bien d'une interface VBA. L'interface fait intervenir différentes pages qui permettent de proposer à l'utilisateur une expérience intéressante et agréable. Cette interface comporte une liste d'onglets (Home, About us, Product, Set up yours) qui fait office de menu. Il est commun à chaque page. Le menu fait le lien entre les différentes pages, comme le montre la figure 5.



Cette interface utilisateur se devra d'être attractive, moderne et technique. Nous allons donc intégrer des images, des vidéos, des rendus réalistes animés et adaptables aux paramètres sélectionnés. Les styles et les couleurs doivent être en accord avec l'ensemble. La figure 6 exprime ce besoin.

### 3. Assemblage

#### a. Diagramme bête corne

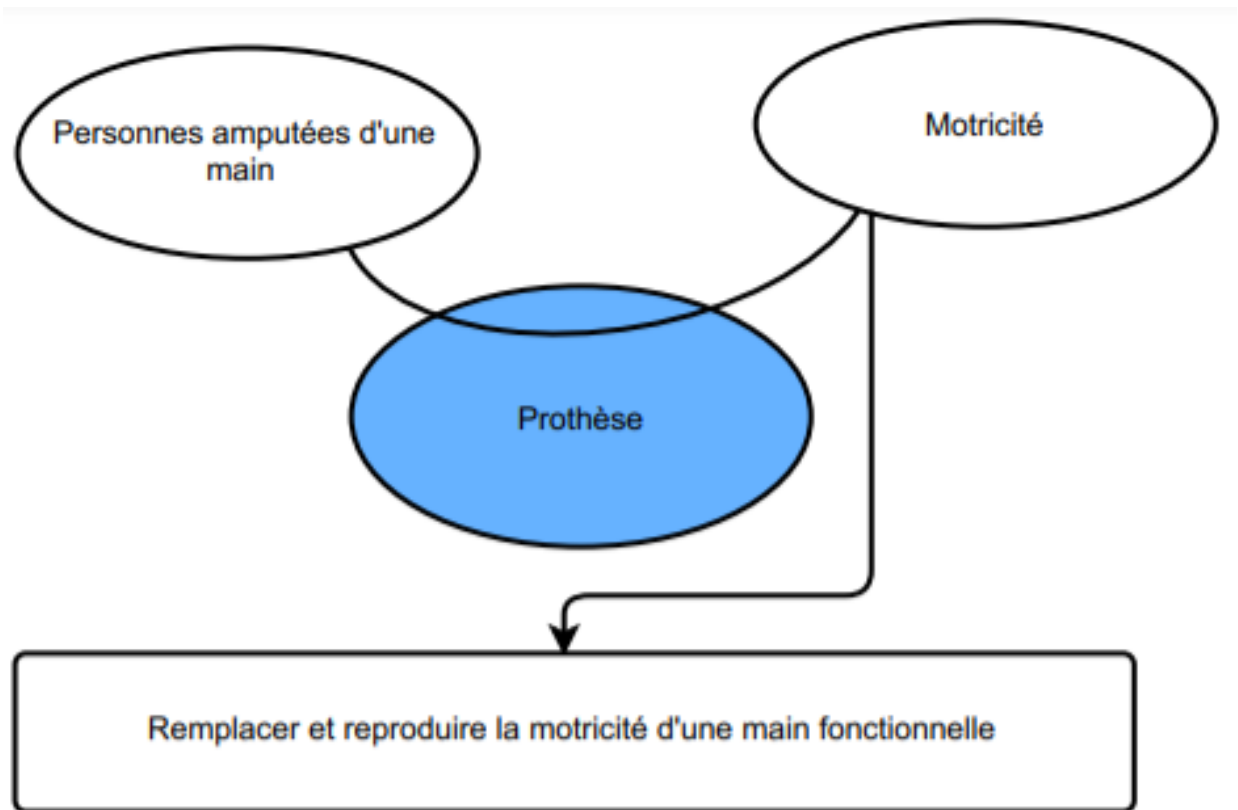


Figure 7 : diagramme bête à cornes

Ci-dessus (figure 7), le diagramme bête à cornes est un outil pour l'analyse fonctionnelle du besoin. Il se réalise sous forme d'un schéma qui démontre si le produit est utile pour l'utilisateur et s'il répond à ses besoins. Ce diagramme a été important pour formaliser concrètement et simplement l'objectif premier de ce projet.



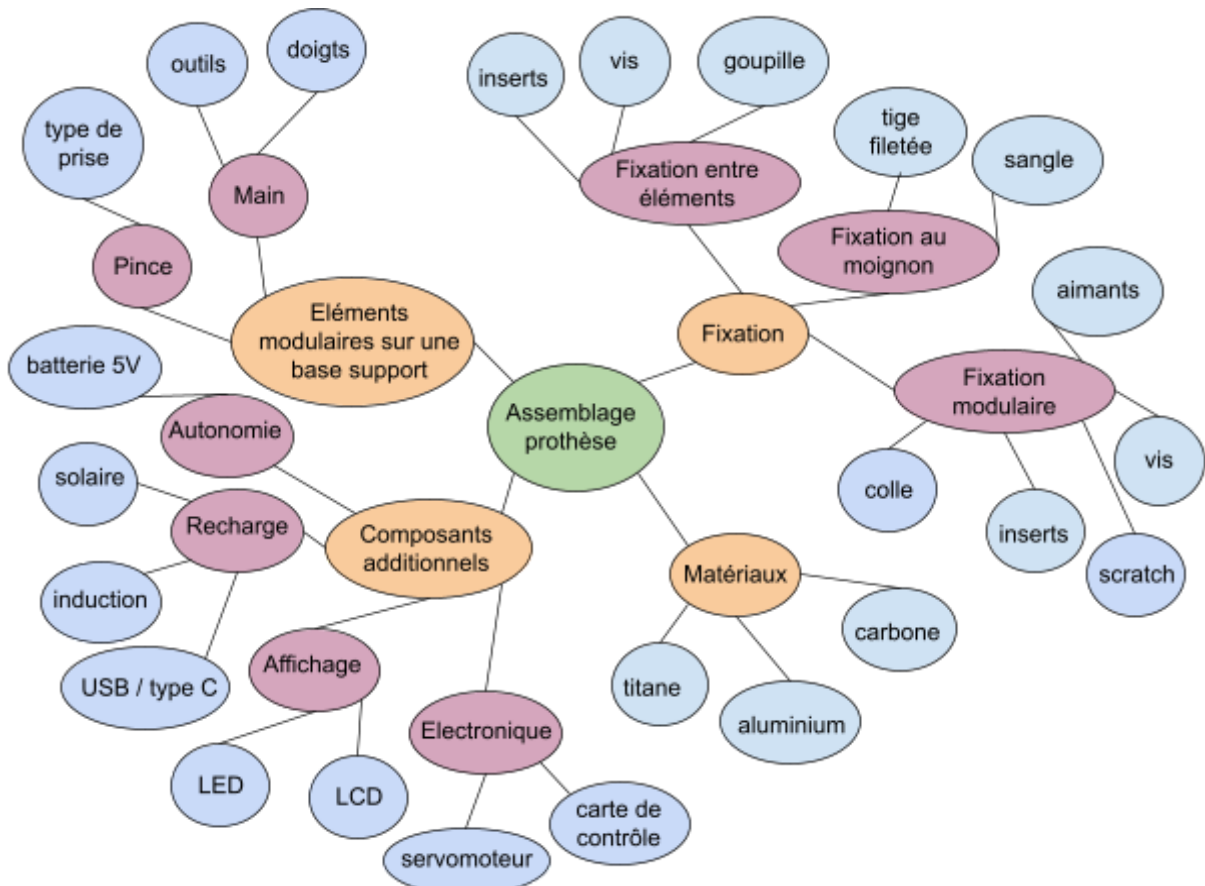
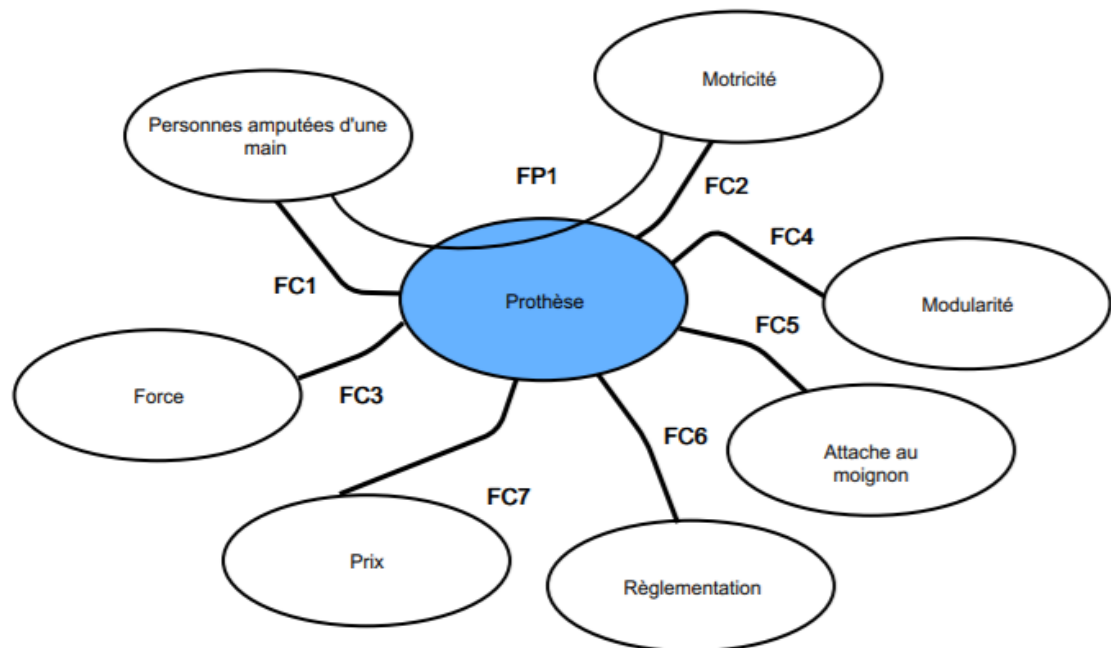


Figure 8 : diagramme pieuvre de l'assemblage

La figure 8 ci-dessus met en évidence les différents éléments à assembler avec différents types de méthodes d'assemblage.

L'intégration de l'ensemble des composants doit se faire simplement et intelligemment. Ces éléments (outils, batterie, recharge solaire) ne doivent pas interférer avec les composants initiaux (doigts, mains ) en termes d'aisance et de mobilité.

## b. Graphe des interactions / diagramme pieuvre



FP1 : Permettre à l'utilisateur de reproduire la motricité d'une main humaine

FC1 : S'adapter à l'amputation de l'utilisateur

FC2 : Manipuler des objets du quotidien

FC3 : Proposer une main prothèse adapté aux activités

FC4 : Assurer un changement de modules aisée et en autonomie

FC5 : Faciliter l'utilisation de l'utilisateur

FC6 : Protéger l'amputation et la prothèse

FC7 : Proposer un prix non excessif

Figure 9 : graphe des interactions

Ce diagramme pieuvre (figure 9) présente la relation entre la prothèse et la motricité que nous souhaitons proposer aux personnes amputées d'une main.

Le diagramme pieuvre permet de visualiser les fonctions de service d'un produit. Grâce à celui-ci, nous pouvons savoir quelles sont les fonctions essentielles et secondaires du produit et comment elles réagissent avec le milieu extérieur. Cette analyse a permis de créer notre produit en intégrant toutes les caractéristiques de l'objet. Ce graphique permet de comprendre le cahier des charges visuellement et simplement.

Le produit est au centre et les éléments du milieu extérieur sont autour. Des lignes relient les différents éléments en fonction de leurs rôles.

Nous avons pu en faire ressortir une fonction principale et des fonctions contraintes que nous pouvons visualiser sur la figure 9 également.





Dans cette partie (figure 10), nous avons développé les différentes fonctions principales et contraintes associées à ce projet.

Une fonction principale est une fonction de service qui justifie la création du produit (satisfaire un besoin).

Une fonction contrainte est une fonction de service qui limite la liberté du concepteur pour créer.

Cette figure 10 reprend la fonction principale et les fonctions contraintes énoncées dans la figure 9. Ici ces fonctions sont développées pour affiner les recherches de solutions.

## 4. Esquisses filaires

### a. Schémas cinématique

Au sein de cette partie, nous avons développé différents schémas cinématique permettant une compréhension plus technique des mouvements associés à la prothèse en fonction des configurations possibles.

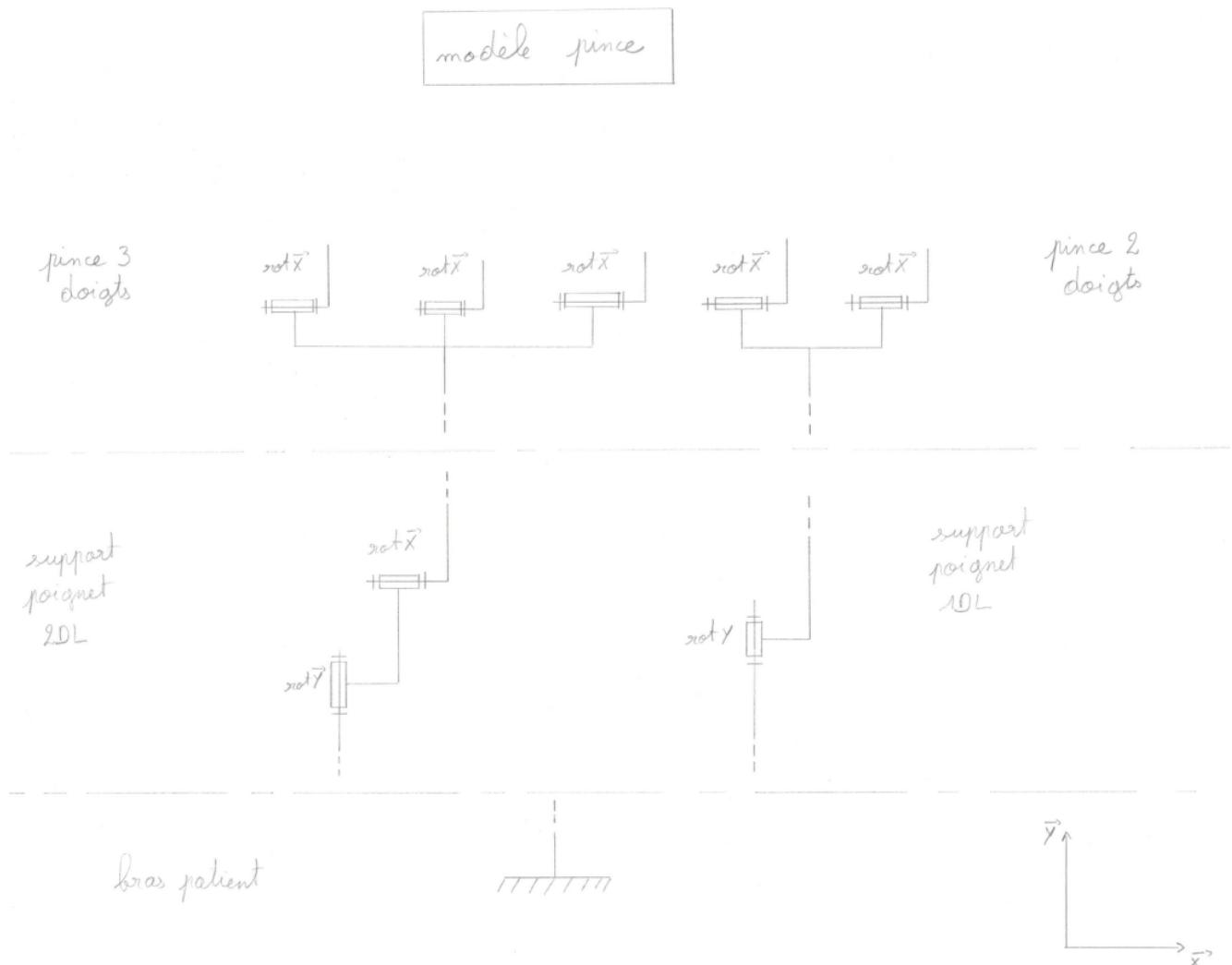


Figure 11 : schéma cinématique du modèle pince

La figure 11 met en valeur le schéma cinématique du modèle pince de la prothèse. Ce modèle peut se mouvoir grâce à un enchaînement de liaisons pivots. Le nombre de liaisons varie en fonction de la gamme souhaitée lors de la configuration.

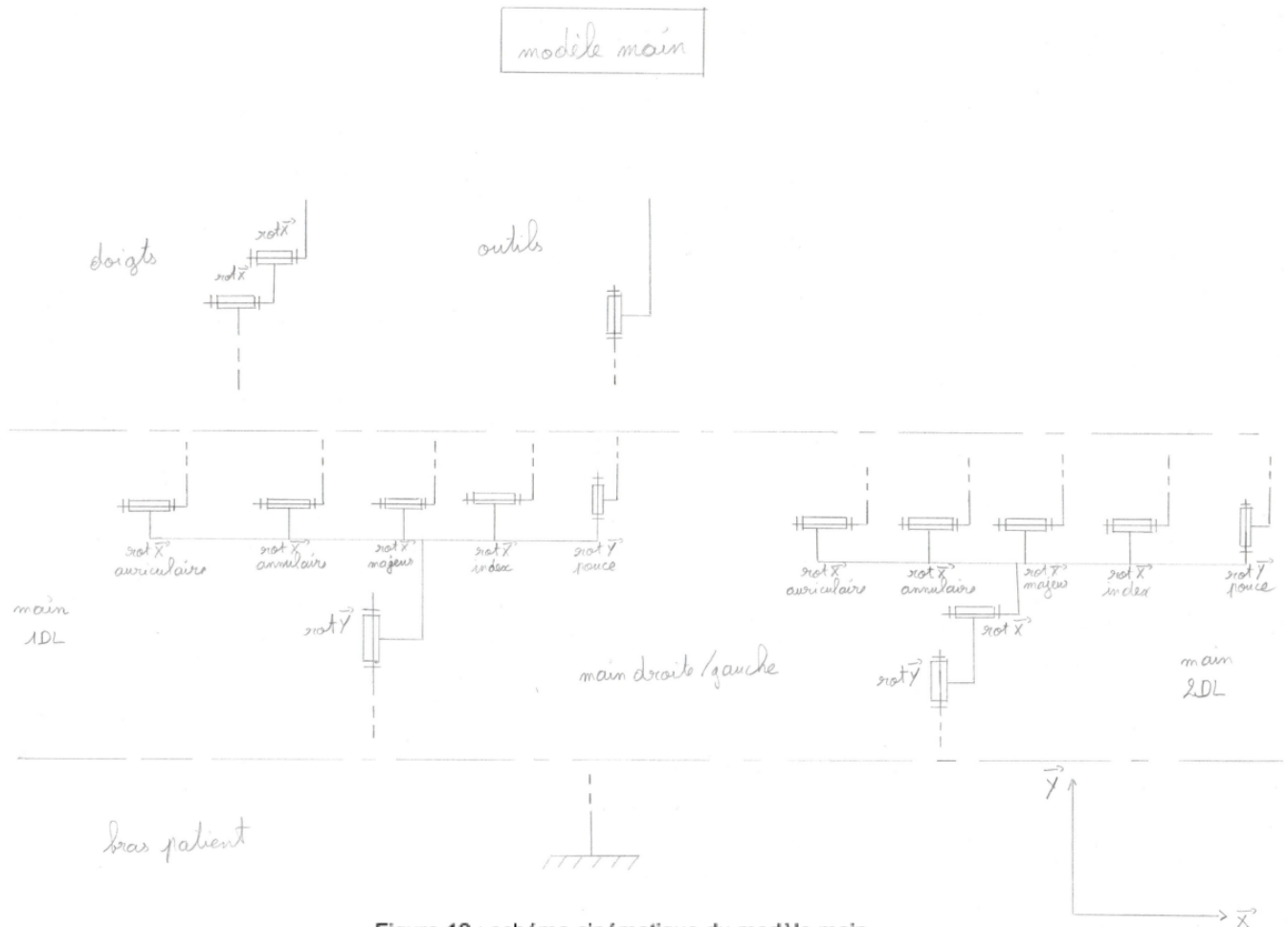
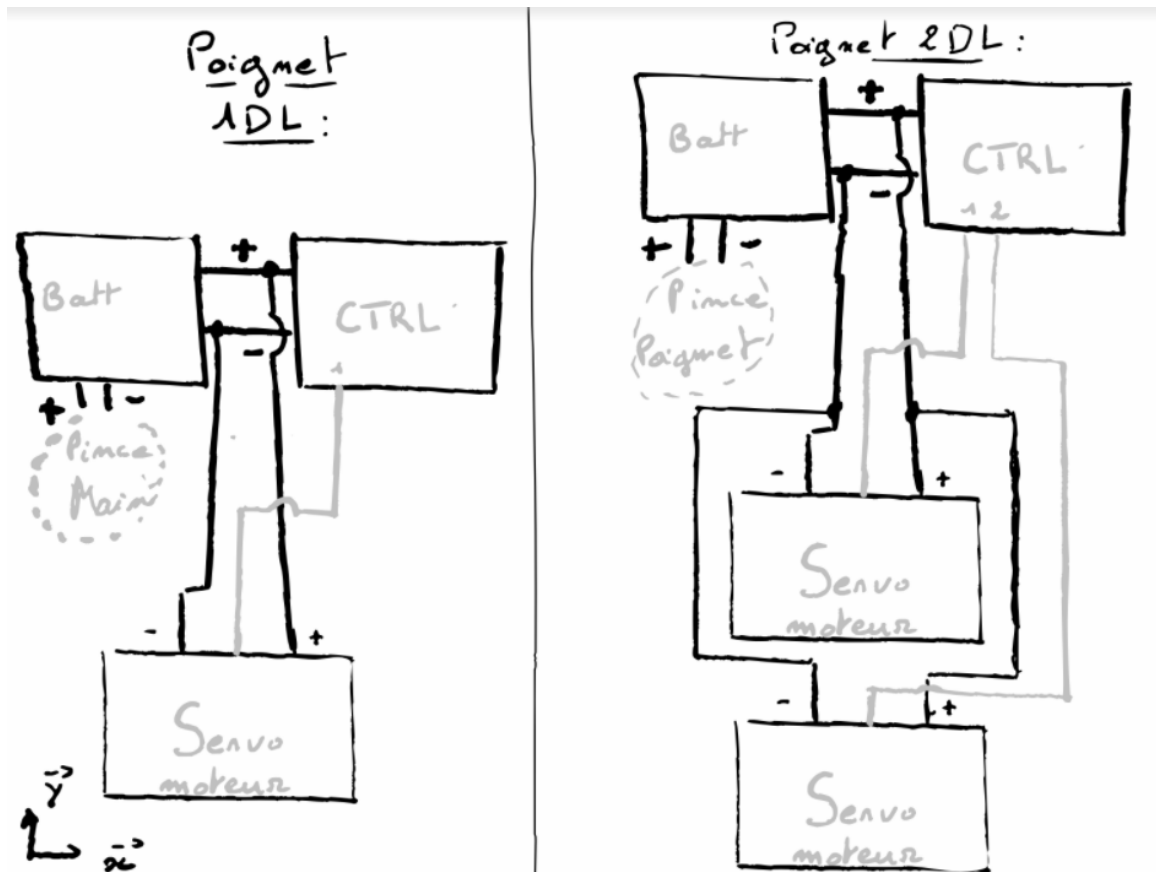


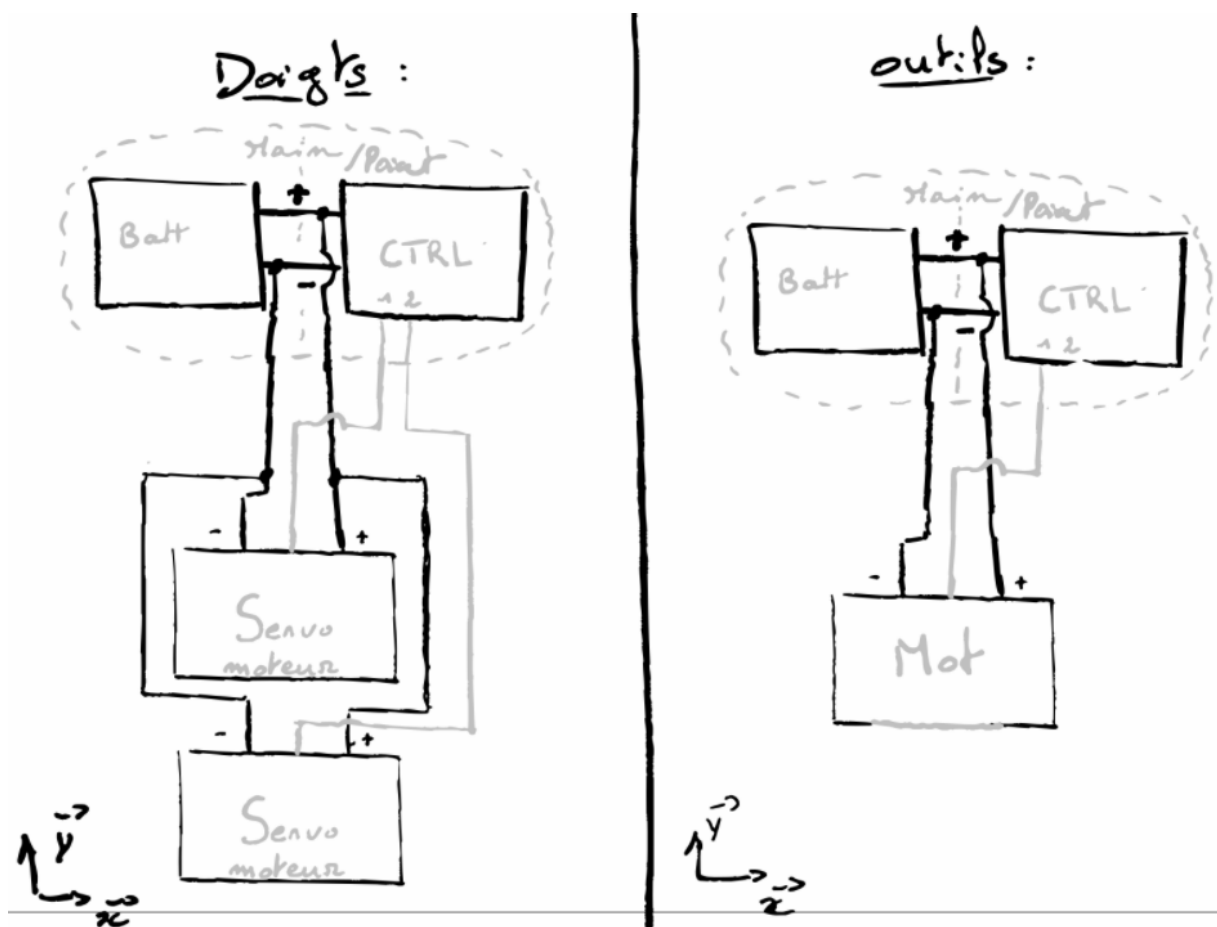
Figure 12 : schéma cinématique du modèle main

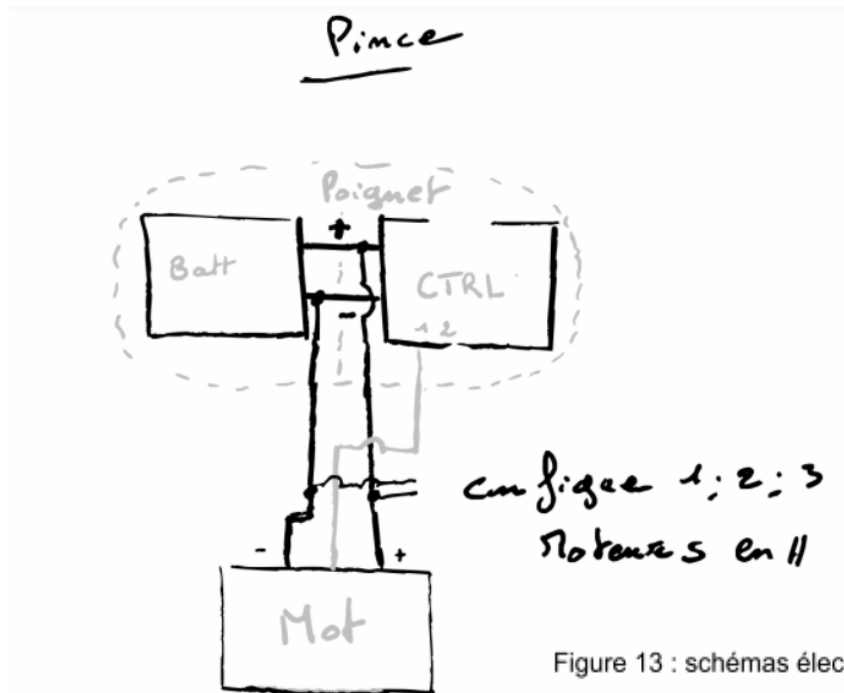
La figure 12 montre le schéma cinématique du modèle main 3D de la prothèse. Ce modèle peut se mouvoir grâce à un enchaînement de liaisons pivots. Le nombre de liaisons varie en fonction de la gamme souhaitée lors de la configuration. Elles permettent la rotation des éléments selon différents axes.

## b. Schémas électrique

Ce projet devra intégrer un certain nombre de composants électriques et électroniques pour permettre le mouvement possible des éléments. Cette partie permet de comprendre réellement le fonctionnement de cette prothèse en termes de moyens de mouvement et d'anticipation de leur intégration (nombre d'éléments, encombrement et passages de câbles).







Ci-dessus, grâce aux croquis présents au sein la figure 13, nous pouvons visualiser le fonctionnement électrique des différents choix proposés pour l'utilisateur. Ces schémas intègrent les composants utiles au fonctionnement final tels que les servomoteurs, les batteries, les contrôleurs...



## 5. Esquisses des configurations

Dès la validation de l'idée de ce projet, nous nous sommes renseignés et nous avons analysé l'existant sur le marché comme le montrent les figures ci-dessous (figure 14). Cela a permis de comprendre les mouvements corporels à reproduire et de proposer des fonctionnalités supplémentaires en modifiant, améliorant et créant des solutions.

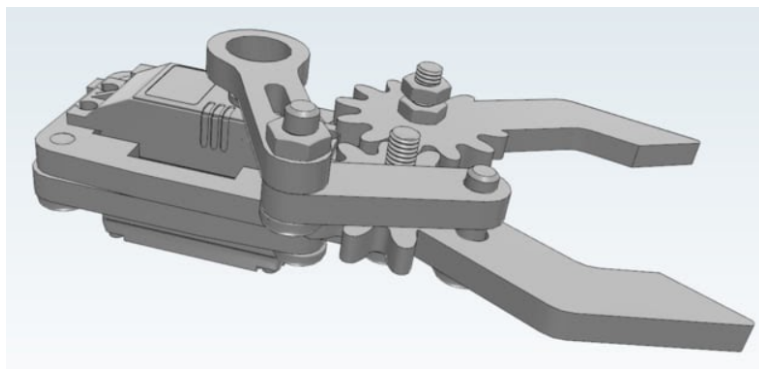
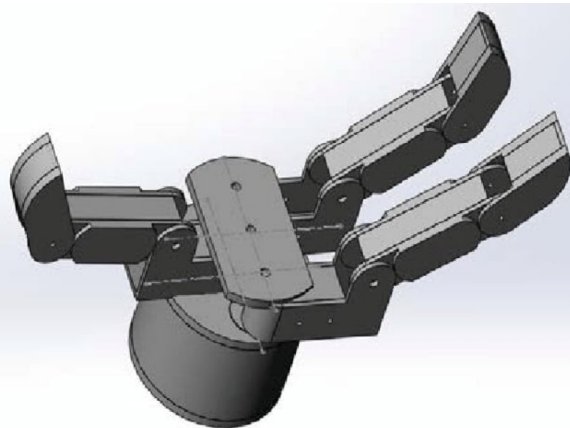


Figure 14 : analyse de l'existant

Nous avons poursuivi ce projet en réalisant des croquis. Nous avons réalisé la géométrie de plusieurs prothèses. Ensuite les différents dessins ont permis de faire l'intégration de l'ensemble des éléments que nous souhaitons. Une recherche de design et de technologie à été réalisée pour proposer un produit visuellement et fonctionnellement complet et pratique comme l'expriment les images ci-dessous (figure 15). Nous avons mis en valeur les différentes configurations par des flèches qui montrent la modularité des éléments et des différents composants.

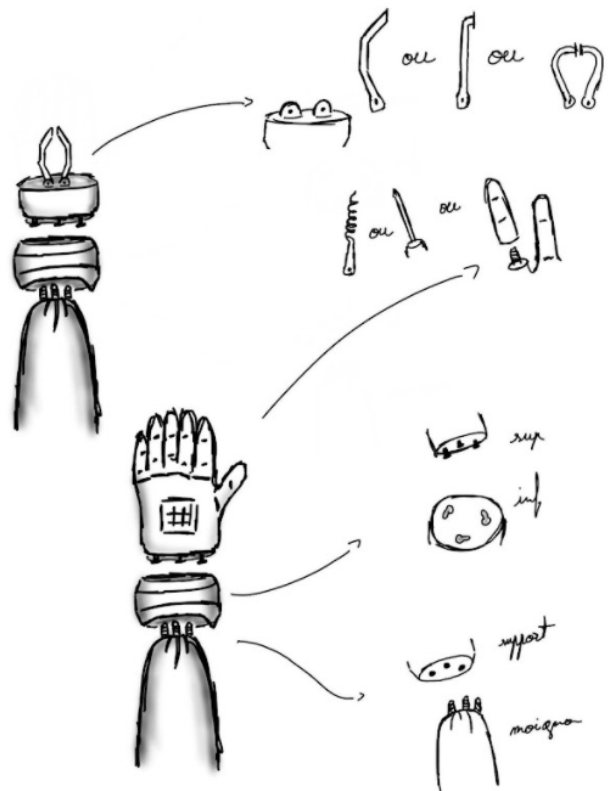
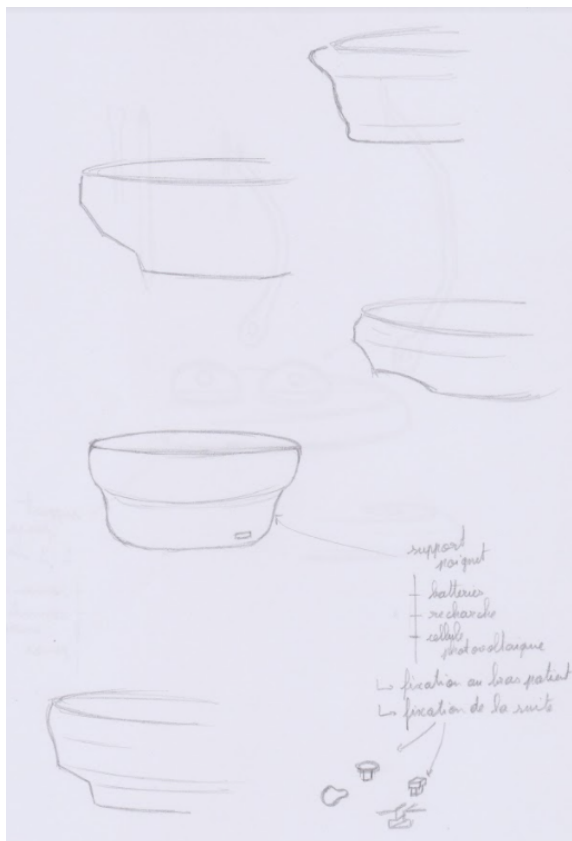
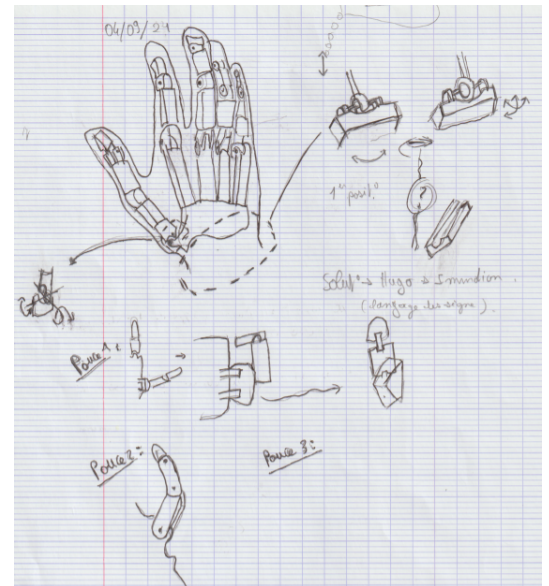
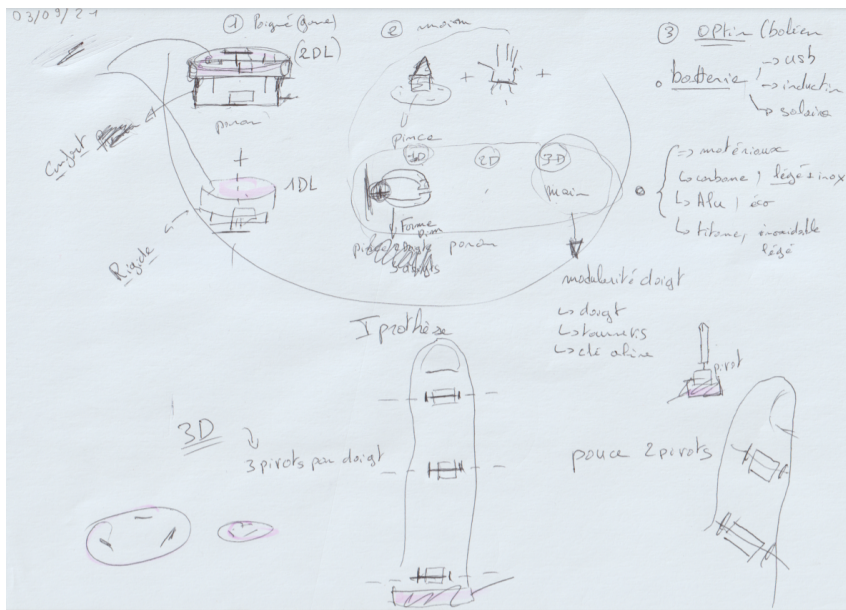


Figure 15 : croquis de la solution retenue

## 6. Propositions et stratégies de conception

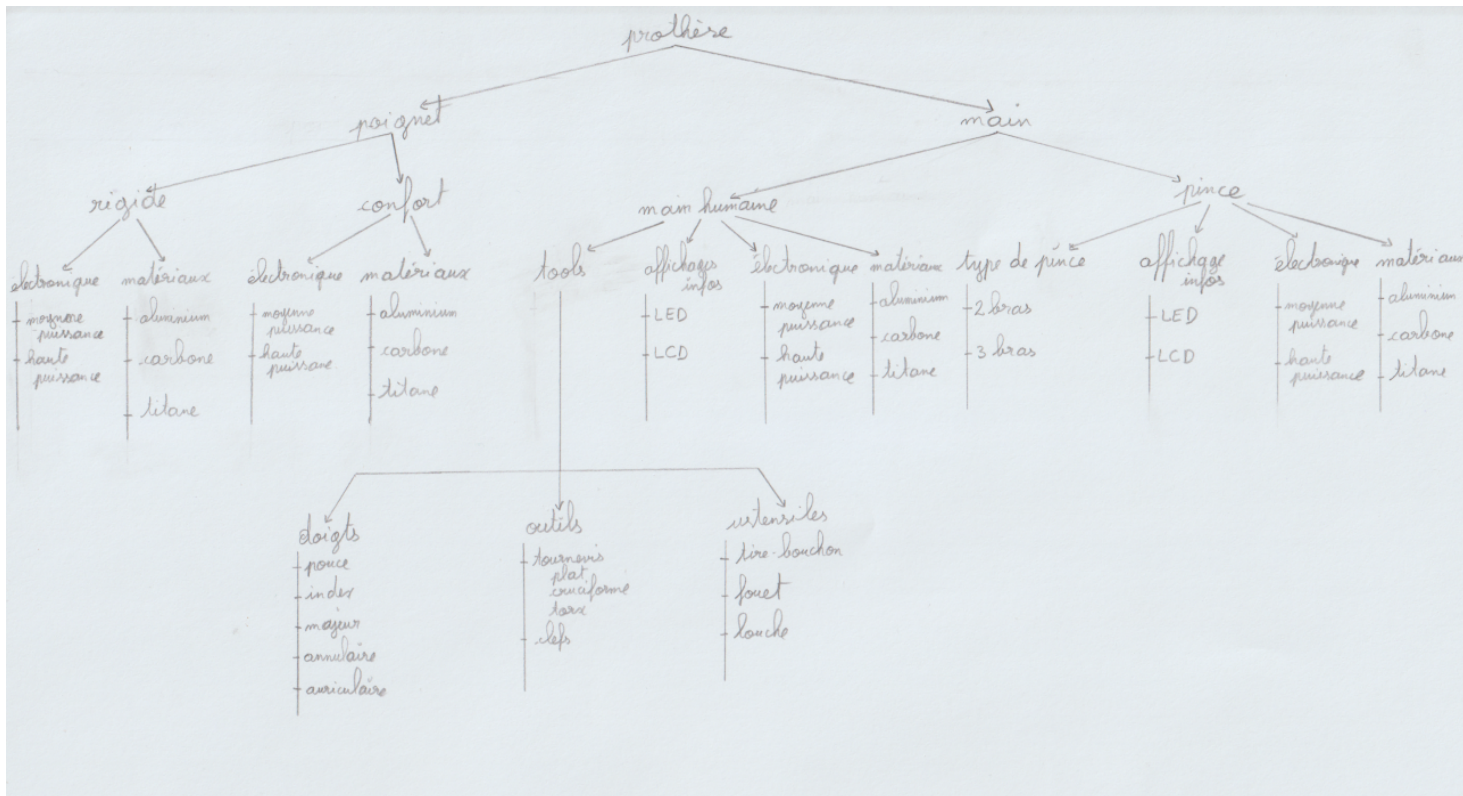


Figure 16 : Configurations sous forme d'arborescence

Ci-dessus, sur la figure 16, vous pouvez visualiser l'ensemble des configurations réalisables sous forme d'une arborescence. Cela permet de comprendre la façon dont les ensembles et les sous-ensembles se combinent pour former les différentes configurations.

Nous allons combiner les différentes stratégies de conceptions des squelettes. Le notre nous permettra donc de :

- Générer l'ensemble des configuration (modèle intelligent)
- Faire varier la forme et les proportions de toutes les configurations à l'échelle de l'assemblage ou des pièces.
- Assurer les liaisons entre les différents solides et les mouvements définis par le schéma cinématique.

Nous allons réaliser l'ensemble de ces tâches en utilisant les compétences acquises dans les ateliers : assembly design, part design, generative shape design, DMU kinematics et drafting pour mener à bien ce projet.

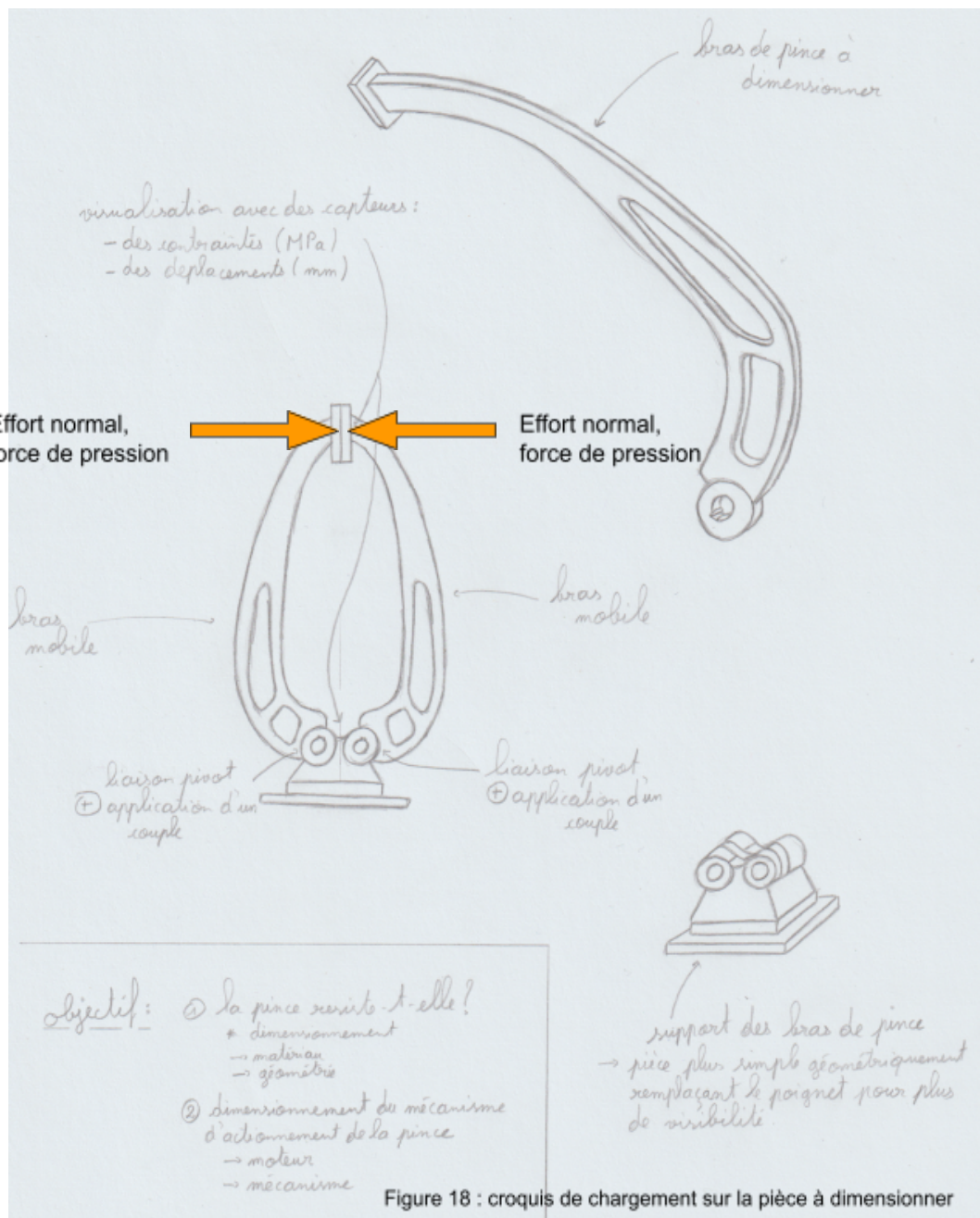




### c) Mesure par la méthode des éléments finis

Nous réaliserons une modélisation par la méthode des éléments finis auxquels nous appliquerons les conditions limites précédemment établies. Ceci nous permettra de relever les zones les plus contraintes et le comportement de notre mécanisme. Nous utiliserons le logiciel HyperWorks en simulation numérique ou logiciel Catia sous l'atelier de calcul statique.

- Schéma de notre système pour la simulation :



La figure 18 ci-dessus exprime les conditions appliquées au système pince et plus précisément sur ces bras.

## d) Dimensionnement

Pour finir, nous traiterons les données sous forme de tableaux et courbes grâce au logiciel Excel. Cela nous permettra de comparer les différentes versions de simulations et choisir les plus intéressantes.

En faisant varier les efforts, le couple, les analyses de contraintes et les déformations, le plan d'expériences permettra de visualiser les simulations avec le plus d'intérêt et de les approfondir pour avoir un résultat le plus optimisé possible.

		Valeurs		Analyse (valeurs maximum)	
N° simulation	Détails et caractéristiques de la simulation (variations)	Effort	Couple	Contraintes (Mpa)	Déplacements (mm)
Simulation 1					
Simulation 2					
Simulation 3					
Simulation 4					
Simulation 5					
Simulation 6					
Simulation 7					
Simulation 8					
Simulation 9					
Simulation 10					
Simulation 11					
Simulation 12					
Simulation 13					
Simulation 14					
Simulation 15					
Simulation 16					
Simulation 17					
Simulation 18					

Figure 19 : tableau récapitulatif des simulations / plan d'expériences

Cette figure 19 mettra en valeur les différentes simulations réalisées sous forme d'un tableau des valeurs principales à étudier et des courbes viendront le compléter pour une approche plus visuelle des changements.

Les valeurs pour commencer ce plan d'expériences sont celles vues au-dessus avec les différentes charges maximales à porter au quotidien.

**Nous allons répondre à deux objectifs :**

- Dimensionnement de la Pince : résistance (choix du matériaux et validation de la géométrie)
- Dimensionnement du mécanisme actionnant la pince : moteur / mécanisme

## 8. Planning prévisionnel

### Projet CAO

Brochain; Fontaine; Tourasse

### Prothèse

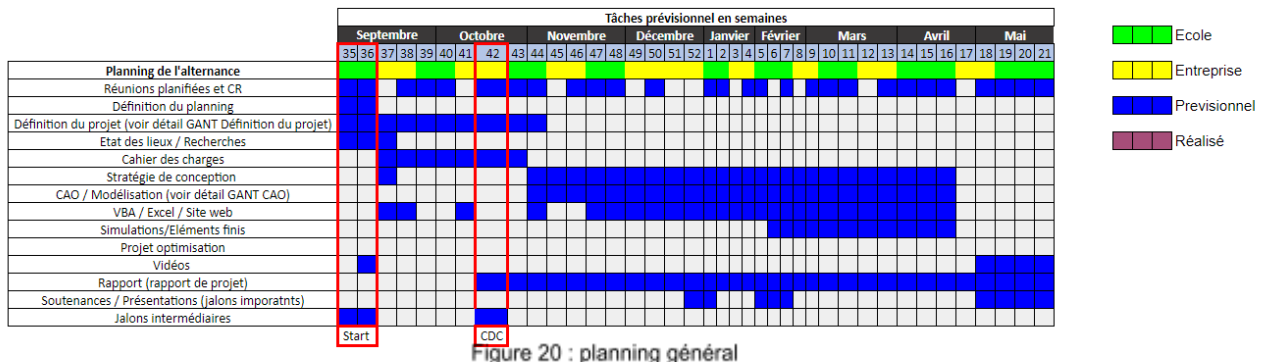


Figure 20 : planning général

Le planning ci-dessus (figure 20) exprime l'ensemble des tâches à réaliser sur l'ensemble du temps imparti pour la réalisation de ce projet prothèse. Il est constitué d'une liste des tâches les plus importantes pour l'avancement. Des jalons ont été intégrés sous forme de dates de rendus de documents ou pour des soutenances. Sur l'ensemble du projet, nous pouvons visualiser que toutes les tâches se succèdent et coïncident entre elles pour arriver à un point final et ont été commencées dès le départ du projet.

Nous remplissons également et conjointement un planning réel qui montre notre avancement réel et permet une comparaison par rapport au prévisionnel.

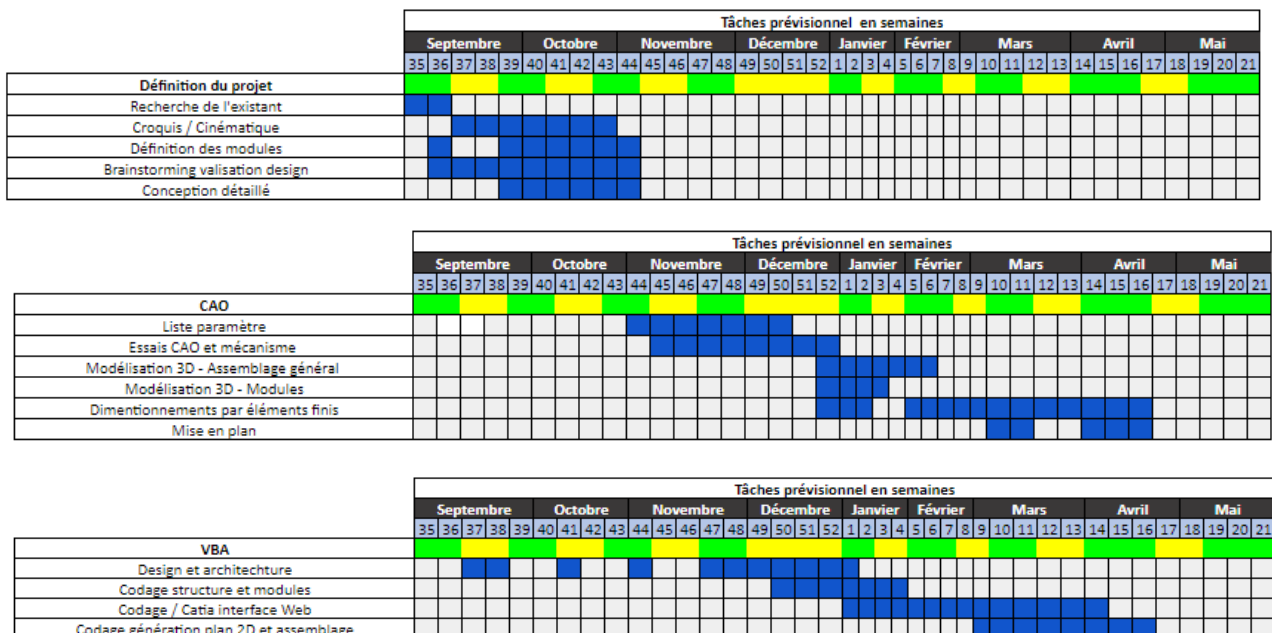


Figure 21 : planning précis pour définition du projet / CAO / VBA

Les trois différents GANT ci-dessus (figure 21) montrent les trois parties les plus importantes en termes de temps de travail (définition du projet, CAO, VBA/WEB). Nous avons alors choisi de spécifier les sous-tâches associées. Cela a permis de se projeter dans les missions à réaliser et formaliser le travail à faire.



## 9. Table des illustrations

Figure 1 : portrait d'une femme amputée de l'avant bras → p2

Figure 2 : liste des configurations → p4

Figure 3 : interactions site / CAO/ base de donnée → p5

Figure 4 : diagramme pieuvre WEB / VBA → p5

Figure 5 : visualisation du site web/VBA → p6

Figure 6 : croquis du site web/VBA → p7

Figure 7 : diagramme bête à corne → p8

Figure 8 : diagramme pieuvre de l'assemblage → p9

Figure 9 : graphe des interactions → p10

Figure 10 : fonctions principales et contraintes → p11

Figure 11 : schéma cinématique du modèle pince → p13

Figure 12 : schéma cinématique du modèle main → p14

Figure 13 : schéma électriques → p17

Figure 14 : analyse de l'existant → p18

Figure 15 : croquis de la solution retenue → p19

Figure 16 : configuration sous forme d'arborescence → p20

Figure 17 : étude statique → p21

Figure 18 : croquis de chargement sur la pièce à dimensionner → p22

Figure 19 : tableau récapitulatif des simulations / plan d'expériences → p23

Figure 20 : planning générale → p24

Figure 21 : planning précis pour définition du projet /CAO/ VBA → p24

## 10. Sources

CNFS, Amputation - membres inférieurs et supérieurs

<https://cnfs.ca/pathologies/amputation-membres-inferieurs-et-superieurs>

ADEPA, membre amputé supérieur :

<https://www.adepa.fr/autour-de-lamputation/niveaux-damputation/membre-superieur/>

Santé publique France :

<https://www.santepubliquefrance.fr/recherche/#search=amputation>

EDIMARK:

<https://www.edimark.fr/ada/2020/ej/amputation-membres-inferieurs-quelle-evolution-ces-de-rnieres-annees>

L'EST REPUBLICAIN :

<https://www.estrepublicain.fr/edition-besancon/2020/05/07/le-nombre-d-amputations-de-digts-en-hausse-au-chru>

SOS MAIN :

<https://www.mainetpoignet.com/les-urgences/amputation/>

Le Parisien:

<https://www.leparisien.fr/societe/en-france-on-ampute-un-doigt-chaque-jour-a-cause-des-bag-ues-22-10-2010-1118949.php>

IFCM :

<https://www.institut-main.fr/amputations-completes/>

Drive des documents liés à ce projet :

[https://drive.google.com/drive/folders/17wy\\_W9h6iHViTir7amj52lmvlghWGF3s?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/17wy_W9h6iHViTir7amj52lmvlghWGF3s?usp=sharing)