Département des Technologies de
l'information et de la communication (TIC)
Informatique et systèmes de communication
Informatique logicielle

**Travail de Bachelor (Rapport Intermédiaire)**

# Editeur d'abaque de Smith

## Développement d'un outil moderne et multiplateforme

| | |
|---|---|
| **Étudiant** | **Edwin Häffner** |
| **Enseignant responsable** | Prof. Bertrand Hochet |
| **Année académique** | 2024-25 |

Yverdon-les-Bains, le 25.11.2025

Département des Technologies de l'information et de la communication (TIC)
Informatique et systèmes de communication
Informatique logicielle
Étudiant : Edwin Häffner
Enseignant responsable : Prof. Bertrand Hochet

Travail de Bachelor 2024-25

Editeur d'abaque de Smith

**Résumé publiable**

Ce travail de Bachelor a pour but de développer un logiciel pour faciliter l'utilisation de l'abaque de Smith, qui permet d'effectuer graphiquement une adaptation d'impédance. L'objectif est de proposer un outil plus moderne et surtout multiplateforme.

Pour le moment, ce projet est à la phase du rendu intermédiaire. Le prototype actuel permet déjà la visualisation et l'interaction de base avec l'abaque. Ce rapport présente donc l'analyse du problème, les outils choisis (JavaFX) ainsi que l'architecture logicielle mise en place pour le début du développement.

| Étudiant : | Date et lieu : | Signature : |
|---|---|---|
| Edwin Häffner | ..... | ..... |
| Enseignant responsable : | Date et lieu : | Signature : |
| Prof. Bertrand Hochet | ..... | ..... |

# Préambule

Ce travail de Bachelor (ci-après TB) est réalisé en fin de cursus d'études, en vue de l'obtention du titre de Bachelor of Science HES-SO en Ingénierie.

En tant que travail académique, son contenu, sans préjuger de sa valeur, n'engage ni la responsabilité de l'auteur, ni celles du jury du travail de Bachelor et de l'Ecole.

Toute utilisation, même partielle, de ce TB doit être faite dans le respect du droit d'auteur.

HEIG-VD

Vincent Peiris
Chef de département TIC

Yverdon-les-Bains, le 25.11.2025

# Authentification

Le soussigné, Edwin Häffner, atteste par la présente avoir réalisé ce travail et n'avoir utilisé aucune autre source que celles expressément mentionnées

Yverdon-les-Bains, le 25.11.2025

Edwin Häffner

# Cahier des charges

## Résumé du problème

L'abaque de Smith est un outil très important dans le domaine de la conception et de l'analyse d'antennes. Il permet de visualiser et de manipuler les impédances complexes en les projetant sur le plan du coefficient de réflexion.

Dans un monde parfait, une antenne devrait transférer toute sa puissance vers le milieu de propagation, l'air par exemple, sans aucune perte. Cependant, en réalité, l'impédance des antennes est très rarement adaptée à celle de la ligne de transmission qui leur fournit le signal. Cette différence d'impédance crée des ondes stationnaires et un phénomène de réflexion. Cette réflexion, en plus d'être potentiellement dangereuse pour la source de courant (puisqu'une partie de la puissance émise est renvoyée vers celle-ci), diminue également l'efficacité de l'antenne.

Pour pallier ce problème, on peut adapter une impédance à une autre en ajoutant, en série ou en parallèle (shunt), des condensateurs ou des inductances. C'est là que l'abaque de Smith entre en jeu, il aide l'utilisateur à choisir les bons composants afin de réduire le coefficient de réflexion et d'obtenir une adaptation optimale, c'est à dire maximiser le transfert de puissance de la source à la charge.

Actuellement, les étudiants en systèmes embarqués utilisent un logiciel développé par Fritz Dellsperger, un professeur de la Haute école spécialisée bernoise (BFH) aujourd'hui à la retraite, pour leurs laboratoires sur les antennes. Ce logiciel, exclusif à Windows et appelé **Smith V4.1**, n'est plus maintenu depuis 2018 et présente plusieurs problèmes d'affichage et de dimensionnement, rendant son interface peu ergonomique et difficile à utiliser.

### Problématique

Comment fournir aux étudiants un logiciel intuitif, simple d'utilisation et agréable à prendre en main pour manipuler numériquement un abaque de Smith ?

### Solutions existantes

Il existe bien entendu d'autres logiciels, natifs ou en ligne, qui permettent de manipuler un abaque de Smith.

Par exemple, **SimSmith** (un outil très complet développé par AE6TY) [1] est un outil multiplateforme développé en Java. L'outil semble très complet, quoique pas très intuitif au premier abord.

**linSmith** [2] est aussi une bonne alternative, avec une interface utilisateur agréable. Son gros point faible est qu'il ne tourne que sous Linux.

Il existait également **Iowa Hills Smith Chart**, mais le développement semble être tombé en désuétude et il n'y a apparemment plus de moyen de télécharger l'application actuellement.

Finalement, il existe des solutions purement en ligne telles que QuickSmith[1] et Online Smith Chart Tool[2]. Ces outils fonctionnent mais ne propose pas forcément les fonctionnalités voulues pour l'étendue de ce TB. Aussi avoir une application tournant nativement sur sa machine et hors ligne est un plus.

### Solutions possibles

Pour ce travail de bachelor, la meilleure option semble être de développer une solution dédiée, directement avec les utilisateurs de l'abaque de Smith à l'HEIG. Ça permettra de remplacer les logiciels obsolètes ou qui ne font pas exactement ce qu'on veut. En plus, avoir une solution multiplateforme est un point vraiment important.

## Cahier des charges

### Objectifs

Les objectifs principaux du projet sont :

- Fournir un logiciel multiplateforme (volonté de ne pas forcer l'utilisateur à un système d'exploitation).
- Avoir un logiciel avec une interface moderne, intuitive, adaptée à l'enseignement à l'HEIG (pas besoin d'être exhaustif dans les fonctionnalités, seulement ce dont on a besoin).
- Fonctionnalités similaires à Smith.exe pour ne pas être dépaysé.
- Avoir un logiciel évolutif dans le code.

[1] Lien du site : https://quicksmith.online/
[2] Lien du site : https://onlinesmithchart.com/

### Spécifications fonctionnelles

Fonctionnalités minimales :
- Affichage d'un abaque de Smith interactive.
- Placement d'impédances et/ou d'admittances.
- Placement de composants passifs en série ou en parallèle (R, L, C, ligne, stub).
- Chargement de fichiers S1p.
- Fonction Sweep et tuning.

Fonctionnalités avancées :
- Édition de plusieurs circuits simultanément (jusqu'à 10) à partir d'une même paire [charge, source].
- Choix de couleur pour la trajectoire de chaque circuit.
- Fenêtre "Cursor" : curseur aimanté sur les points calculés.
- Zoom et pan paramétrables.
- Export de fichiers S1p issus d'un sweep.
- Tuning basé sur des valeurs normalisées CEI 60063.
- (Optionnel) Affichage Z, Y, Mod/Arg pour les points intermédiaires.

### Déroulement

Le travail commence le 3 novembre 2025 et se termine le 16 janvier 2026. L'entièreté de ce travail sera réalisé à plein temps.

Un rendu intermédiaire noté est demandé le 25 novembre 2025 à 15 heures et le rendu final est prévu pour le 16 janvier 2026 à 12 heures.

# Table des matières

# 1 Introduction

Avant de parler de la conception d'un logiciel ou quoi que ce soit d'autre, il faut tout d'abord comprendre ce qu'est l'abaque de Smith et d'où cet outil provient.

## 1.1 Origine

L'abaque de Smith tire son nom de son inventeur, l'ingénieur américain Phillip Hagar Smith. Né le 29 avril 1905 à Lexington, dans le Massachusetts, il grandit avec une vraie passion pour la radio. Pendant son cursus universitaire, il a même monté sa propre station amateur (avec l'identifiant 1ANB) en utilisant des composants faits maison.[3]

Logiquement, il poursuit des études d'ingénierie électrique et, en 1928, il obtient son diplôme à l'université Tufts, qui aboutit à son premier emploi aux laboratoires téléphoniques Bell dans le département de la recherche radio. L'une de ses missions consistait à adapter des antennes aux lignes de transmission, le problème que l'abaque de Smith cherche justement à résoudre.

Dans un premier temps, Smith développe une méthode rapide pour pouvoir calculer les impédances des lignes de transmission en utilisant un graphique rectangulaire. Cependant, ce graphique rectangulaire présentait rapidement ses limites. Smith, entouré de deux de ses collègues, E.B. Ferrell et J.W. McRae, développe alors une transformation mathématique permettant de projeter les impédances sur un plan circulaire correspondant au coefficient de réflexion[3], offrant ainsi une représentation beaucoup plus claire et pratique. [4]

C'est en 1939 que Smith publie dans le volume 12 du journal « Electronics » officiellement l'abaque de Smith, qui est toujours et encore utilisé aujourd'hui, et c'est cet abaque que nous allons étudier et digitaliser.

[3]Note : Explication dans la partie des principes théoriques

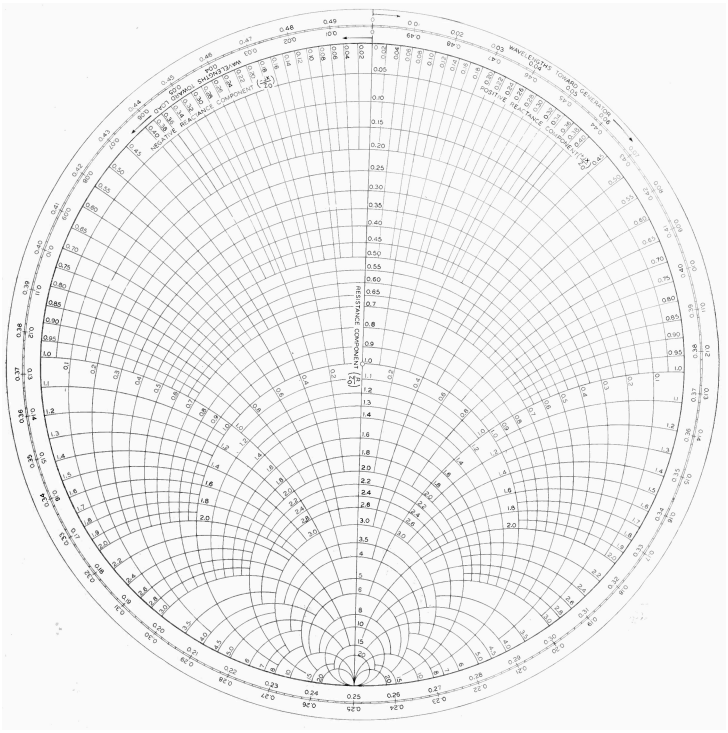


Fig. 1. – L'abaque de Smith tel que présenté dans le journal « Electronics »

## 1.2 Actualité

En 2025, plus de 85 ans après sa première publication, l'abaque de Smith reste un outil incontournable pour les ingénieurs et les étudiants du monde entier. Si son adoption fut lente au début, elle a été considérablement accélérée par le MIT Radiation Laboratory, qui l'a massivement utilisé dès 1940 pour le développement du radar durant la Seconde Guerre mondiale. [4]

Aujourd'hui, même à l'ère du numérique, son importance n'a pas diminué. Elle offre une manière visuelle et intuitive de comprendre des phénomènes complexes, comme l'adaptation d'impédance, permettant à presque n'importe qui de concevoir un circuit d'antenne fonctionnel. C'est l'affichage de référence lorsqu'on veut faire de l'adaptation d'impédance. C'est dans ce contexte que ce travail de bachelor prend tout son sens, moderniser un outil fondamental pour répondre aux besoins actuels des étudiants et des ingénieurs.

# 2 Principes théoriques

Pour pouvoir développer une solution d'abaque de Smith numérique, il faut tout d'abord comprendre comment celle-ci fonctionne et comment on l'utilise. Ce chapitre a pour but de poser les bases théoriques nécessaires à la compréhension de l'outil.

## 2.1 Pourquoi l'abaque de Smith ?

L'abaque de Smith existe dans le contexte de l'utilisation et la transmission des fréquences radio (RF). Dans ce domaine, on a souvent affaire à des circuits qui opèrent à hautes fréquences et dont le comportement est décrit par une grandeur complexe, l'impédance.

L'impédance $Z$ est une grandeur complexe qui allie une partie réelle, la résistance $R$ totale d'un circuit, avec une partie imaginaire qui s'appelle la réactance $X$. [5]

$$Z = R + jX$$

Ensuite cette réactance peut soit être capacitive $X_C$ (comme un condensateur) ou bien elle peut être inductive $X_L$ (comme une bobine). La valeur de la résistance est généralement considérée comme constante par rapport à la fréquence, tandis que la réactance en dépend fortement, la réactance inductive augmente avec la fréquence, alors que la réactance capacitive diminue.

$$X_C = -\frac{1}{2\pi fC} \qquad X_L = 2\pi fL$$

En radiofréquence, l'objectif est de transférer un signal le plus efficacement possible entre une source émettrice et une charge (une antenne, par exemple). Pour ce faire, il faut assurer que le transfert de puissance soit maximal. Si l'on envoie 100W de puissance RF, on veut que notre antenne rayonne l'entièreté de ces 100W.

Si ce n'est pas le cas, on parle de désadaptation d'impédance. L'énergie qui n'est pas transmise à la charge est alors réfléchie vers la source, ce qui induit deux problèmes majeurs: une perte d'efficacité, car une partie de la puissance transmise n'est tout simplement pas rayonnée et un danger pour la source qui peut être endommagée par cette réflexion.

Pour obtenir ce transfert de puissance maximal, l'impédance de la charge doit être le conjugué complexe de l'impédance de la source. Malheureusement, ce cas idéal n'arrive que très rarement en pratique. Il faut alors insérer un circuit d'adaptation entre la source et la charge. Le rôle de ce circuit est de transformer l'impédance de la charge pour qu'elle soit adaptée à sa source.

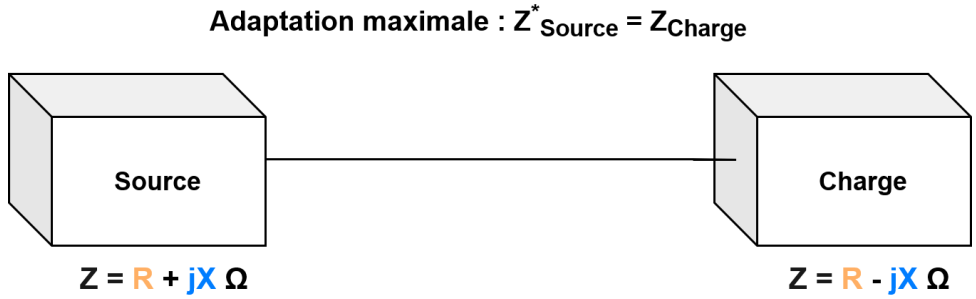



Fig. 2. – On adapte la partie réactive ($+jX$ et $-jX$) et maximise le transfert de puissance

### 2.1.1 Quantifier la réflexion

Cette désadaptation est quantifiable mathématiquement avec le coefficient de réflexion gamma ($\Gamma$). Ce coefficient est calculé avec cette formule :

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

Où $Z_L$ est l'impédance de la charge et $Z_0$ est l'impédance de la ligne de transmission (50 Ohm dans les cas les plus courants). Avec cette formule, on peut voir que, si l'impédance de la source et de la charge sont les mêmes, on obtient alors 0, une adaptation parfaite. Alors qu'inversement, plus la différence entre $Z_0$ et $Z_L$ est grande, plus le module du coefficient se rapprochera du 1, une réflexion alors totale de l'énergie.

Physiquement, les conséquences de cette réflexion sont l'apparition d'onde stationnaire. Ces ondes sont des pics de courant qui arrivent lorsqu'un milieu câblé reçoit un courant de retour en plus d'un courant aller. Ce qu'il se passe, c'est que les deux fréquences vont se superposer et former des ondes stationnaires.

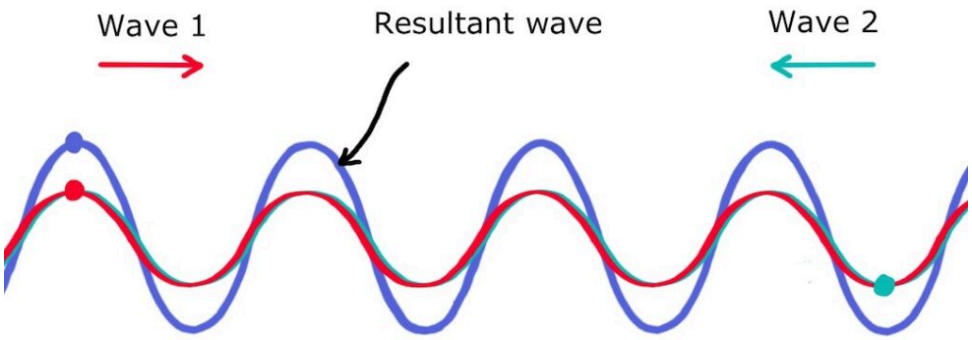



Fig. 3. – Phénomène des ondes stationnaires [6]

Ce sont ces ondes stationnaires qui sont les causes physiques des problèmes mentionnés plus haut. Et à partir de ces ondes stationnaires, on peut calculer le VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) qui est une mesure du rapport entre l'amplitude maximale et l'amplitude minimale que peut atteindre l'onde stationnaire.

$$\text{VSWR} = \frac{1+ |\Gamma|}{1- |\Gamma|}$$

Finalement, à partir de cette mesure, on peut aussi calculer le montant de puissance du signal qui est retourné à la source, une mesure appelée Return Loss, qui est exprimée en décibel.

$$\text{Return Loss} = 20 \log_{10}\left(\frac{\text{VSWR} +1}{\text{VSWR} -1}\right)$$

### 2.1.2 Représentation graphique

Sans entrer dans des détails trop exhaustifs pour le projet, les calculs pour trouver les bons composants étaient longs et fastidieux, et on a vite commencé à utiliser des représentations graphiques pour trouver ces composants.

La représentation graphique est une représentation du point d'impédance de la charge $Z_L$ par rapport à l'impédance de référence de la ligne $Z_O$. On pose alors sur l'axe des ordonnées la relation imaginaire, la réactance $X$. Et sur l'axe des abscisses, la partie réelle, la résistance.

Il est complexe de représenter cette relation sur le plan cartésien, car on utilise d'une part seulement le côté droit du plan, étant donné que la résistance ne peut être négative, mais surtout qu'autant les valeurs de réactance comme celles de résistance peuvent pointer vers l'infini, rendant impossible la visualisation de toutes les impédances sur une seule feuille. [7]

C'est là que l'abaque de Smith offre la solution. Au lieu de représenter directement le plan des impédances, l'abaque de Smith est une représentation graphique du plan du coefficient de réflexion complexe Γ.

Comme le module de Γ est toujours compris entre 0 et 1, toutes les valeurs possibles peuvent être contenues à l'intérieur d'un cercle de rayon 1. Smith a ensuite développé une transformation mathématique qui permet de superposer des lignes de résistance et de réactance constantes sur ce même plan circulaire. On obtient ainsi un diagramme où chaque point correspond à la fois à une valeur d'impédance unique et son coefficient de réflexion associé.

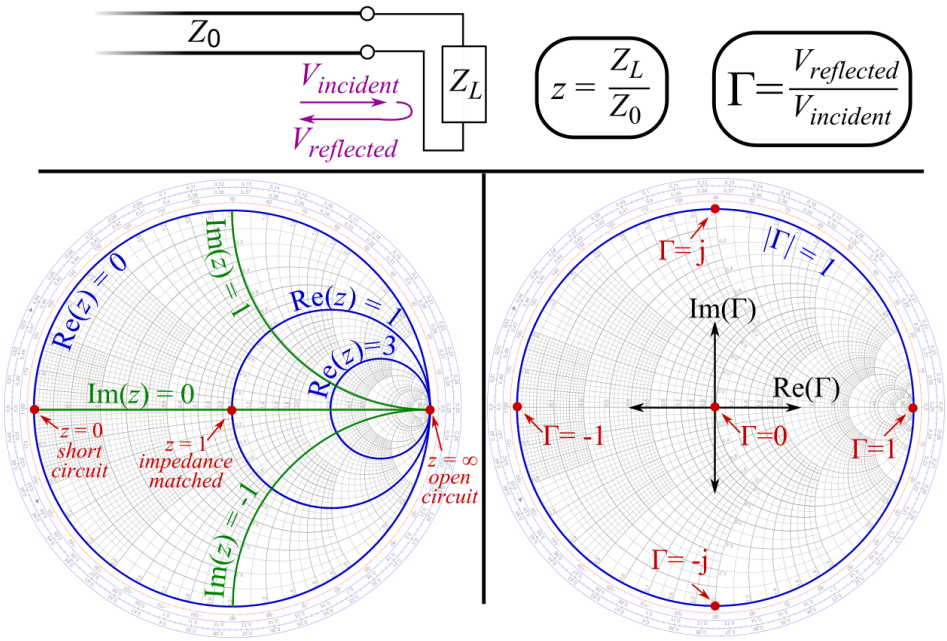



Fig. 4. – Explication graphique de l'abaque [8]

### 2.1.3 Lire l'abaque

Tout comme sur le schéma sur un plan cartésien, l'axe des ordonnées est l'axe des nombres imaginaires et l'axe des abscisses est l'axe des nombres réels, la résistance. Du côté gauche complètement réel de l'abaque, on a une résistance nulle, un court-circuit. Et du côté droit complètement réel, on a une résistance « infinie », en gros un circuit ouvert. À partir de là, on peut voir que l'abaque est dessiné avec deux types de lignes. D'abord, il y a des cercles qui se touchent tous au point de circuit ouvert. Ce sont les cercles de résistance constante. Chaque point se trouvant sur un même cercle partage exactement la même partie résistive. [9]

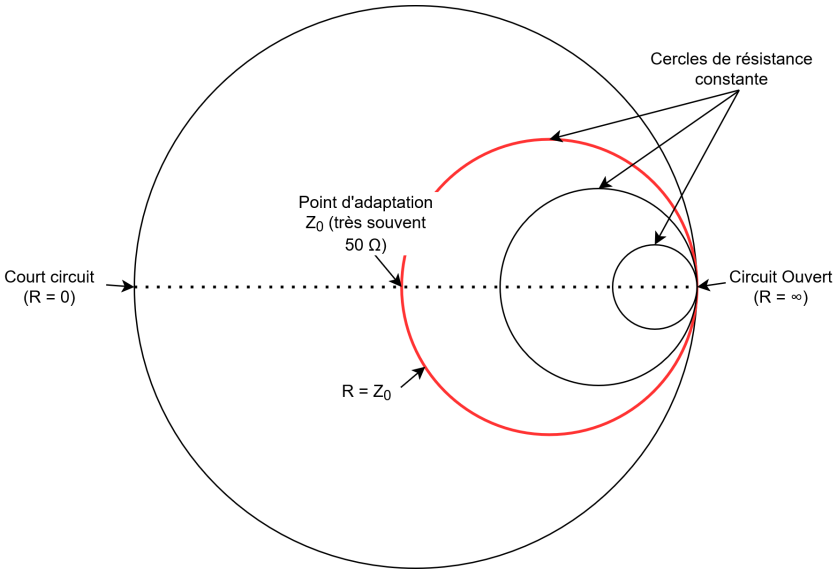



Fig. 5. – Représentation des cercles de résistance constante sur l'abaque de Smith

Ensuite, des courbes partent toutes du même point de circuit ouvert et s'étendent vers l'extérieur. Ces courbes représentent les lignes de réactance constante. La moitié supérieure de l'abaque correspond aux réactances inductives $(+jX)$, tandis que la moitié inférieure représente les réactances capacitives $(-jX)$. Tout comme pour les cercles, chaque point situé sur la même courbe possède la même partie réactive.

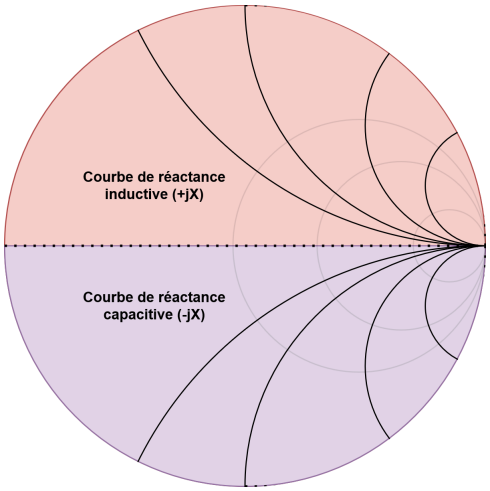



Fig. 6. – Représentation des courbes de réactance constante

Jusqu'ici, on a parlé de l'abaque d'impédance, aussi appelé la forme Z de l'abaque. Il est parfait pour visualiser l'ajout de composants en série, car les impédances s'additionnent. Mais pour pouvoir pleinement utiliser l'outil dans le cas de la recherche de circuits d'adaptation, il nous faut aussi pouvoir gérer les composants en parallèle (shunt).

Pour cela, on utilise aussi un abaque d'admittance ($Y$) qui est simplement l'inverse de l'impédance ($Y = \frac{1}{Z}$). La partie réelle de l'admittance est appelée la conductance et la partie imaginaire la susceptance.

Graphiquement, cet abaque est exactement le même que l'abaque des impédances, mais pivoté de 180 degrés, on peut alors superposer les deux abaques dans un graphe combiné qui est aussi appelé abaque $Z - Y$. C'est cette visualisation de l'abaque qui est le plus pratique et qui est utilisée majoritairement par les logiciels actuels. Cela sera aussi cet abaque que nous allons dessiner dans notre version du logiciel.

### 2.1.4 Utiliser l'abaque

Maintenant, pour l'utiliser, rien de plus simple, on mesure l'impédance de notre composant de charge. On positionne cette mesure sur l'abaque. Dans le cas d'un abaque papier, cette mesure devra être normalisée par rapport à l'impédance de référence. Par exemple, si notre impédance mesurée est de 75 + j50 Ohms dans un système à 50 Ohms, cette impédance se trouvera sur un point normalisé de 1.5 + j1 sur l'abaque.

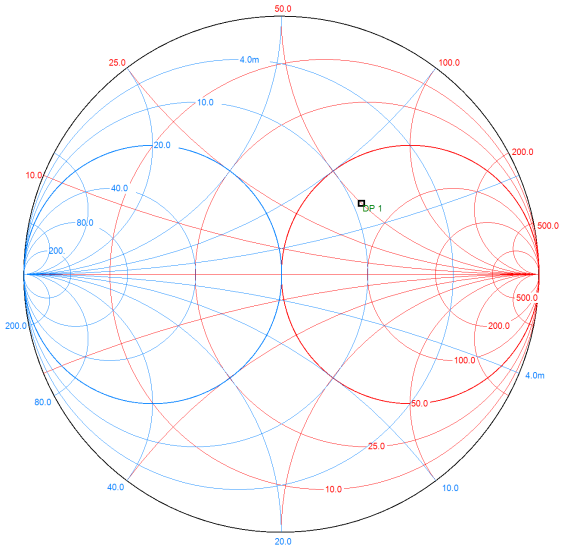



Fig. 7. – Impédance de 75 + j50 Ohm

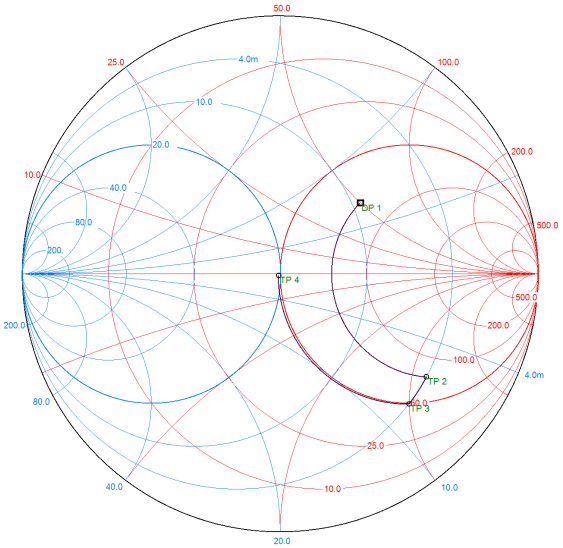



Fig. 8. – Impédance avec circuit d'adaptation[4]

[4]Source : Logiciel Smith.exe

Ensuite, le but du jeu est de ramener ce point le plus proche du centre de l'abaque possible, le point d'adaptation parfaite. Et pour y arriver, on va ajouter des composants, des inductances et des condensateurs, soit en série, soit en parallèle. Ce n'est pas le seul moyen de pouvoir adapter la charge, mais c'est le moyen sur lequel ces explications vont se reposer.

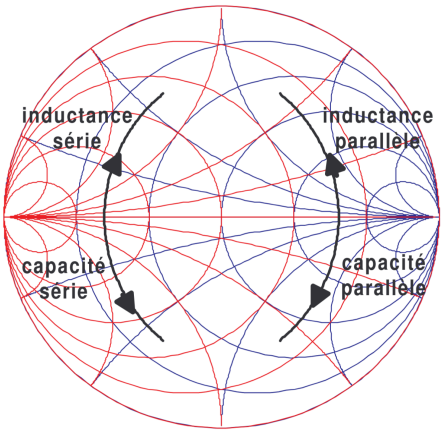
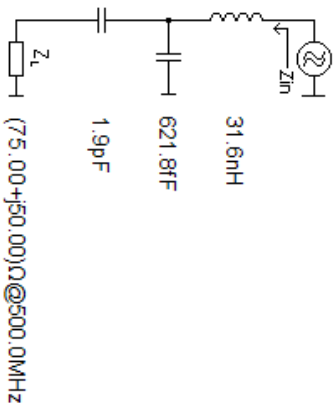



Fig. 9. – Effet d'ajouts d'inductances et de capacités en série et parallèle [9]

Selon le composant qu'on ajoute et selon son placement dans le circuit, l'impédance vue depuis la source va changer de position sur l'abaque. En se basant sur l'exemple de notre impédance mesurée, une des possibilités est d'utiliser le circuit ci-dessous pour réaliser l'adaptation:




1. Ajout d'un condensateur en série de 1.9pF pour rejoindre le cercle de conductance qui à l'échelle de 50 Ohms indique une conductance de 4 millisiemens constante.
2. Ajout d'un condensateur en parallèle de 621.8 fF pour ensuite rejoindre le cercle de résistance constante de 50 Ohms, c'est grâce à celui-ci que nous allons pouvoir nous rapprocher du centre.
3. Finalement, l'ajout d'une inductance en série de 31.6 nH pour nous ramener vers le centre de l'abaque en suivant le cercle de résistance constante de 50 Ohms.

C'est en cela que l'abaque de Smith est extrêmement puissant.

# 3 État de l'art

## 3.1 Fonctionnalités souhaitées

Le but de ce projet est de proposer un outil moderne et complet pour l'utilisation de l'abaque de Smith. Parmi les fonctionnalités attendues, il doit être possible d'éditer plusieurs circuits par projet, et non pas être limité à un seul.

## 3.2 Logiciel déjà existant

L'idée initiale de ce travail de bachelor est de moderniser l'outil existant développé par Fritz Dellsperger, sur lequel s'appuient actuellement les étudiants pour leurs laboratoires. Le produit final s'en inspirera largement tout en cherchant à corriger ses principales limites et en ajoutant les nouvelles fonctionnalités souhaitées.

### 3.2.1 Smith (Smith.exe)

Smith, ou plus couramment **Smith.exe** [10], est un logiciel dont la dernière mise à jour date de 2018. Il fonctionne uniquement sous Windows.

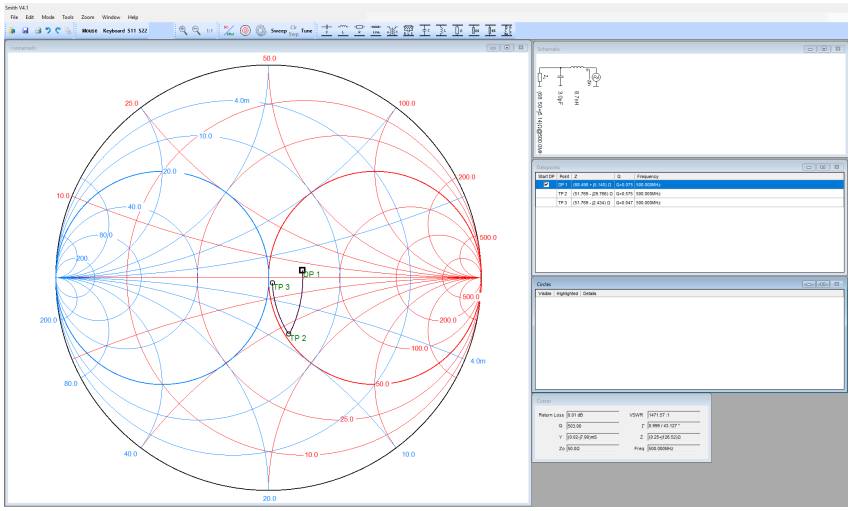


Fig. 10. – Aperçu de Smith.exe

Le principal problème de ce logiciel est son absence de support sur d'autres plateformes, comme Linux ou macOS. Son ergonomie, basée sur un système de sous-fenêtres daté, rend son utilisation peu intuitive. De plus, plusieurs fonctionnalités manquent par rapport aux besoins définis pour ce projet.

Mais, vu que le projet va largement s'inspirer de celui-ci, il est important de comprendre comment il fonctionne.

## 3.3 Bibliothèques et frameworks graphiques pour applications multi-plateformes

Afin de développer une application moderne et accessible sur plusieurs systèmes d'exploitation, il est important de choisir des technologies adaptées. Cette section présente une analyse des principaux frameworks et bibliothèques permettant la création d'interfaces graphiques multi-plateformes.

Dans le cadre de ce projet, le public cible étant constitué d'étudiants et d'ingénieurs, le choix technologique doit répondre à plusieurs exigences. L'application doit avant tout être multiplateforme afin d'assurer une compatibilité avec Windows, macOS et Linux. Elle doit également être moderne visuellement, de manière à offrir une interface intuitive et agréable à utiliser. Enfin, elle doit rester performante pour garantir une expérience fluide, même sur des machines pas très performantes.

Ces trois critères serviront de base pour évaluer les différentes solutions envisagées dans la suite de ce travail.

### 3.3.1 Qt (C++/Python)

Qt est un framework multiplateforme très répandu, utilisé tout aussi bien dans l'industrie que dans le monde académique. Il offre une excellente performance, une interface native sur chaque système et il possède une large communauté active.

Le fait que Qt puisse être utilisé en C++ ou en Python est un avantage, bien que Python puisse poser des limites de performance dans le cadre de calculs intensifs.

Après quelques essais, l'interface graphique de Qt Designer et les modules de dessins de Qt semblent être vraiment bien adaptés au projet. Le seul mauvais point notable est que, pour pouvoir compiler de façon multiplateforme, il faut disposer de différentes machines sur lesquelles compiler. C'est-à-dire avoir une machine Windows, Linux (avec ses différents distro) et MacOS. Ce n'est pas un problème avec les machines virtuelles, mais cela représente tout de même un frein, surtout que l'affichage pourrait ne pas être exactement le même selon sur quel OS le logiciel final tourne.

### 3.3.2 JavaFX

JavaFX est un framework de développement d'applications multiplateforme, puisqu'il repose sur Java et sa fameuse Machine virtuelle (JVM), fidèle au slogan « Write once, run anywhere ».

C'est aussi un framework très complet, enrichi par une communauté active qui propose de nombreux composants graphiques prêts à l'emploi (comme MaterialFX [11] ou AtlantaFX [12] ). C'est un atout majeur pour obtenir facilement une interface moderne et agréable à utiliser.

L'un des plus grands avantages de Java, c'est qu'il est multiplateforme par nature. Pas besoin de s'embêter avec la cross compilation, on produit un seul fichier qui fonctionnera partout où la JVM est installée, et quasiment tout appareil a Java d'installé.
Et question performance, les dernières versions de Java sont très efficaces. On a pu le constater en réalisant des simulations de recherche de chemin optimum dans des graphes dans le cadre du cours « Optimisation et Simulation » donné par J.F. Hêches.

Finalement, après un premier test, la prise en main de JavaFX s'est révélée intuitive et bien adaptée aux besoins du projet.

### 3.3.3 GTK

GTK, anciennement GIMP ToolKit est un toolkit qui permet d'effectuer des GUI majoritairement sur Linux, mais est aussi compatible avec Windows et MacOS. C'est un outil très utilisé

dans la communauté Linux, son avantage est que sa librairie fonctionne avec plusieurs langages différents, C, JavaScript, Perl, Python, Rust, etc…

Cela peut-être une bonne alternative, même s'il est possible que le support soit limité sur les plateformes autres que Linux.

### 3.3.4 Flutter

Flutter est un framework créé par Google pour faire des applications multiplateformes. D'après les retours sur Reddit et ailleurs, Flutter a l'air solide avec des APIs matures et un bon rendu graphique.

Le principal frein est que le langage utilisé est le Dart. L'apprentissage d'un nouveau langage représenterait une charge non négligeable au travail. En plus, Flutter a été pensé d'abord pour le mobile, le support desktop étant quelque chose de plus récent, même si apparemment bien supporté.

De plus, une considération par rapport au projet est la maintenabilité future. Lorsque mon projet sera terminé, sûrement d'autres étudiants ou même ingénieurs seront susceptibles d'ajouter de nouvelles fonctionnalités. Sachant que le logiciel est destiné aux ingénieurs en électrique, il vaudrait mieux se focaliser sur une solution utilisant des langages avec lesquels ils sont déjà à l'aise, le C, le C++ et possiblement le Java.

### 3.3.5 Tauri (Rust)

Tauri est un framework qui utilise une architecture du type web pour le frontend et un backend en Rust. Vu que l'application tourne en backend avec Rust et en frontend avec une technologie web tel que React, Vue, etc. Ce choix peut-être le bon vu que ça peut être un bon entraînement à Rust et l'utilisation de technologie Web m'est plus que familière.

Un grand plus de ce framework est aussi la performance et sa moindre empreinte mémoire.

Après avoir fait quelques recherches, on peut voir que, si l'on veut faire quelque chose de graphique avec Tauri comme dessiner l'abaque de Smith, l'utilisation d'une bibliothèque JavaScript est obligatoire pour le faire, ce qui pose un grand frein pour l'adaptation de ce framework. De plus, le backend ne sera pas très complexe dans ce projet or, avec Tauri, toute la partie graphique doit être réalisée en JavaScript via une technologie web (React, Vue, etc.), ce qui ajoute une couche supplémentaire et ne semble pas pertinent ici. Une solution où le dessin et l'interactivité sont gérés directement dans le langage principal du framework et qui n'utilise si possible pas de JavaScript est préférable.

## 3.4 Choix et justification

Finalement, après avoir passé en revue ces différents frameworks, ce qui semble le plus adapté pour l'envergure de ce travail de bachelor reste JavaFX.

Qt était un bon concurrent, de par sa performance et sa maturité. Mais le problème de déploiement, de compilation multiplateforme représente un obstacle trop important pour un projet solo mené dans un temps limité. Trop de temps serait potentiellement perdu lorsqu'une compilation devrait être fait.

C'est la raison pour laquelle l'utilisation de Java est logique ici, pas besoin de se focaliser sur la compilation, juste besoin de produire un seul exécutable compatible avec toutes les machines, tant qu'elles ont Java d'installé.

Les autres solutions ont été écartées, car soit le langage n'était pas adapté aux besoins qui dépassent l'étendue de ce TB, notamment si le travail est repris par d'autres étudiants de la filière électrique.

Donc, en conclusion, le projet d'abaque de Smith sera codé en utilisant du Java et en utilisant le framework JavaFX, qui est plus que suffisant pour l'étendue de ce travail.

# 4 Planification

## 4.1 Planification initiale

Ce document détaille la planification semaine par semaine pour la réalisation du travail de bachelor. Le projet se déroule à temps plein sur une période de 10 semaines, avec un rendu final fixé au **vendredi 16 janvier 2026 à 12h00**. La planification intègre des phases de développement, de test, de rédaction et une marge de sécurité pour les imprévus.

## 4.2 Planification semaine par semaine

### 4.2.1 Semaine 1 du 03.11.2025 au 09.11.2025 : Début du travail de bachelor

Durant la première semaine de travail, l'idée est de se focaliser sur les aspects techniques et théoriques de l'abaque de Smith, comprendre ses enjeux et son utilisation. Un début de rédaction du rapport est aussi nécessaire avec l'aspect historique et une analyse des différents outils possibles à utiliser pour la conception du logiciel de l'abaque de Smith.

Finalement à la fin de la semaine, un framework doit être choisi pour ensuite commencer à mettre en place les différentes étapes du développement.

### 4.2.2 Semaine 2 du 10.11.2025 au 16.11.2025 : Prise en main et bases

- Gestion et validation de la planification totale.
- Début de la conception du projet avec un diagramme de classe UML.
- Prise en main de l'outil JavaFX et mise en place des éléments clés :
  - Dessin de l'abaque de Smith.
  - Ajout manuel d'impédances sur l'abaque.
  - Système de mémoire pour les points ajoutés.

### 4.2.3 Semaine 3 du 17.11.2025 au 23.11.2025 : Interaction de base sur l'abaque

- Dessin du chemin du circuit en fonction des éléments ajoutés (inductance, capacité, série/shunt).

- Implémentation du curseur aimanté sur les points calculés.
- Affichage des informations du curseur dans une fenêtre dédiée (“Cursor”) comme Smith.exe le fait.
- Finalisation et relecture du rapport.

#### 4.2.4 Semaine 4 du 24.11.2025 au 30.11.2025 : Finalisation de l’interface et jalon

- **Rendu du rapport intermédiaire le 25 novembre.**
- Affichage schématique du circuit avec ses composants.
- Implémentation des fonctions de **Zoom** et **Pan** paramétrables pour la navigation.
- Ajout des composants manquants, résistances, lignes et stubs avec leurs comportements respectifs.
- Amélioration générale de l’interface graphique.

#### 4.2.5 Semaine 5 du 01.12.2025 au 07.12.2025 : Gestion des données (Import)

- Charger et afficher les fichiers S-parameter (S1p).
- Recherche sur la structure du format de fichier S1p.
- Création d’un parser pour lire et interpréter les données.
- Traduction des données en points sur l’abaque.

#### 4.2.6 Semaine 6 du 08.12.2025 au 14.12.2025 : Fonctionnalités avancées

- Implémentation de la fonction de **Sweep** (balayage en fréquence).
- Développement de la fonction de **Tuning** de base (ajustement des valeurs).
- Mise à jour du diagramme de classe UML pour refléter l’architecture actuelle.

#### 4.2.7 Semaine 7 du 15.12.2025 au 23.12.2025 : Export data et rédaction du rapport

- Implémentation de l’export de fichiers S1p issus d’un sweep.
- Recherche et implémentation des notations utilisant les valeurs normalisées CEI 60063.
- Début de la rédaction du rapport final sur la base du rapport intermédiaire, début d’écriture des parties liées à l’implémentation et à l’architecture.

#### 4.2.8 Semaine 8 du 24.12.2025 au 30.12.2025 : Finalisation des fonctionnalités et tests

- Permettre la gestion de plusieurs circuits simultanément en partant du même projet, garder la même base source, charge.
- (Optionnel si le temps est disponible) Ajouter les options de personnalisation de l’interface (couleurs, etc.).
- Début d’une phase de tests et de debuggage de l’application générale.

#### 4.2.9 Semaine 9 du 05.01.2026 au 11.01.2026 : Redaction et correction de problèmes

- Correction des bugs critiques identifiés et amélioration/finalisation des features si besoin.
- Rédaction du corps du rapport (architecture, implémentation, choix techniques).

#### 4.2.10 Semaine 10 du 12.01.2026 au 16.01.2026 : Finalisation et rendu

- Finalisation de la rédaction (conclusion, résumé).
- Relecture complète du rapport et préparation de la version finale du code.
- Préparation du rendu.

### 4.3 Rendu final

Le rendu final du travail de bachelor est fixé au **vendredi 16 janvier 2026, à 18h00 au plus tard**.

# 5 Architecture

L'application est un logiciel qui doit afficher des éléments graphiques complexes (l'abaque) et permettre à l'utilisateur de visualiser des données pour effectuer l'adaptation d'impédance.

Comme annoncé dans l'état de l'art, la bibliothèque JavaFX permet de concevoir ce type d'application en utilisant le pattern « MVVM » (Model-View-ViewModel).

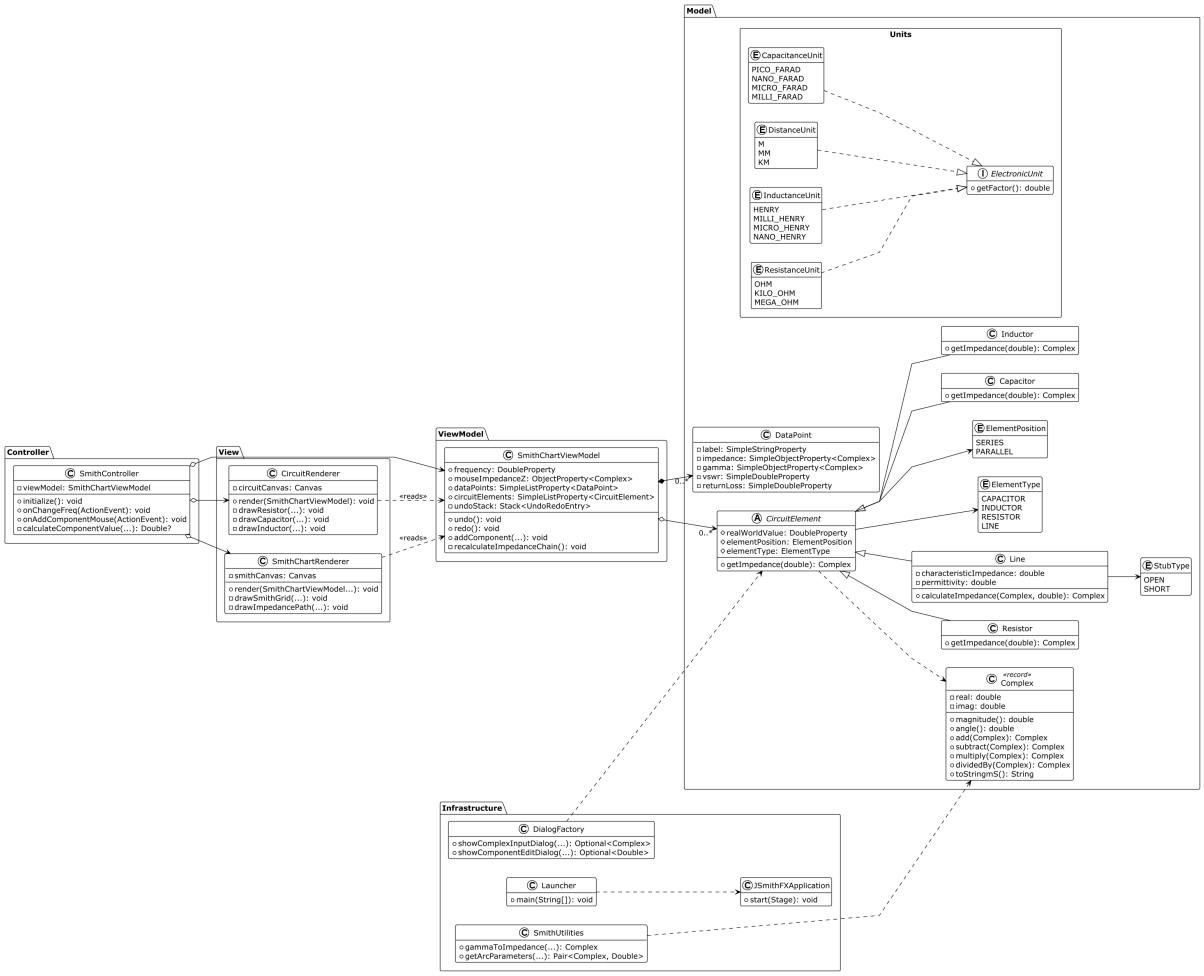



Fig. 11. – Schéma simplifié de l'architecture du projet

## 5.1 Partie View

La vue de l'application est, comme son nom l'indique, ce que l'utilisateur peut voir. C'est la partie émergée de l'iceberg. Dans une application JavaFX, elle se manifeste principalement par un fichier **.fxml**. C'est ce fichier qui est édité via l'outil Scene Builder pour modifier graphiquement l'interface utilisateur.

En plus de ce fichier qui gère les éléments simples, il a fallu mettre en place deux classes spécifiques visibles sur le diagramme :

- SmithChartRenderer pour dessiner l'abaque de Smith.
- CircuitRenderer pour dessiner le circuit et ses composants.

Ensuite, grâce aux outils de JavaFX, on lie ces éléments au fichier FXML via différents **listeners** et annotations.

Enfin, JavaFX fournit une classe Controller (SmithController). Elle permet de faire le lien entre les boutons et les fonctions, et de gérer la logique purement graphique (comme le redimensionnement ou les clics de souris).

## 5.2 Partie Model

Le modèle est le squelette des données de l'application. Il contient les différents composants (CircuitElement), les unités, et la gestion des nombres complexes. C'est ici qu'on définit comment se comportent les éléments dans le plan physique.

On y retrouve aussi la classe SmithUtilities (voir diagramme) qui contient les formules mathématiques pures, séparées de l'interface graphique.

## 5.3 Partie ViewModel

Le ViewModel est la partie qui contient l'état de l'application, c'est la mémoire, mais aussi le cerveau. C'est lui qui s'occupe de mettre à jour les valeurs et de recalculer la chaîne d'impédance lorsqu'on modifie le circuit.

JavaFX met à disposition des classes spéciales, les **JavaFX Properties**. Elles sont intrinsèquement observables, ce qui veut dire qu'on peut réagir dès qu'elles sont modifiées. C'est un fonctionnement vital pour ce type d'application dynamique.

Imaginons que l'utilisateur change la fréquence ou l'impédance de charge, l'entièreté des points sur l'abaque doit bouger. Le ViewModel surveille ces valeurs et effectue un recalcul complet des informations dès qu'elles changent, mettant à jour la vue automatiquement.

# 6 État de l'application au rapport intermédiaire

Pour le moment, l'application n'est bien entendu pas terminée. Cependant, après avoir mis en place les différentes bibliothèques et le langage, j'ai pu développer une version initiale qui contient les éléments de base du fonctionnement d'un abaque de Smith.

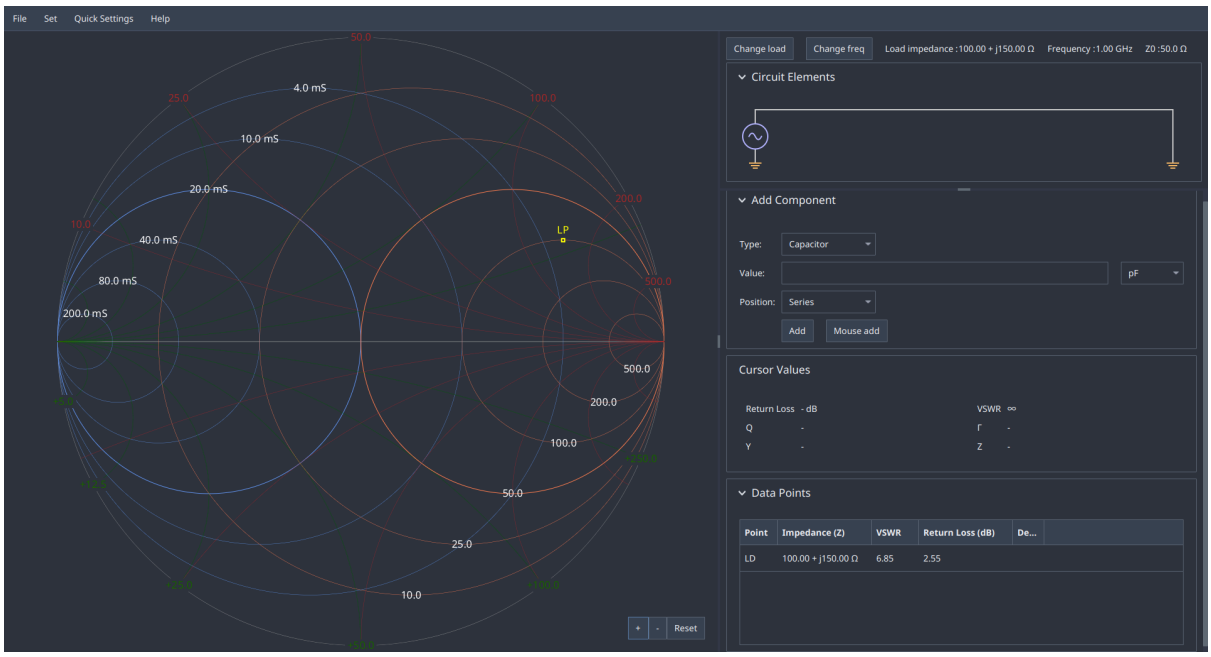



Fig. 12. – Vue d'ensemble de l'application

Actuellement, l'interface ne propose qu'un mode sombre, mais le choix entre mode clair et mode sombre sera intégré dans l'application finale.

Les fonctionnalités déjà mises en place sont :

- Ajout de composants RLC en série et en parallèle.
- Ajout de lignes de transmission et de stubs (ouverts et fermés).
- Visualisation graphique de l'abaque de Smith.
- Visualisation du schéma du circuit créé par l'ajout de composants.
- Calcul en temps réel des valeurs nécessaires à l'utilisation de l'abaque (VSWR, Return Loss, etc.).
- Ajout des composants soit en entrant les valeurs manuellement, soit en utilisant la souris (avec un système d'aimantation là où le curseur doit se trouver).

On obtient alors un logiciel utilisable, même s'il manque encore des fonctionnalités majeures nécessaires telles que le **Sweep** ou le **Tuning**.

## 6.1 Déploiement

Pour déployer l'application de façon multiplateforme, deux choix s'offrent à nous. Soit on construit une image .jar (un **UberJar** plus précisément, en utilisant l'outil Gradle ShadowJar, qui est tout simplement un jar qui contient toutes les dépendances nécessaires par le programme, obligatoire ici vu l'utilisation de JavaFX) qui permet de lancer l'application n'importe où, là où la JVM est installée. Soit on génère une application propre à chaque plateforme que l'utilisateur télécharge selon son système.

Le point fort de la seconde méthode est qu'on n'oblige pas l'utilisateur à avoir Java installé sur son appareil, mais on perd la portabilité du .jar.

Mon choix se porte alors sur un déploiement utilisant les outils de CI/CD pour proposer les deux solutions, la version portable en .jar (en indiquant le prérequis Java), et des exécutables natifs pour Windows, Linux et macOS.

## 6.2 Le ViewModel

On l'a vu dans la partie architecture, le ViewModel est le cerveau de l'application. Concrètement, la classe SmithChartViewModel agit comme la « source unique de vérité » (**Single Source of Truth**) pour l'état de l'application. Elle ne se contente pas de stocker des données, elle orchestre la logique de l'application et la synchronisation avec l'interface.

### 6.2.1 Le binding

Le ViewModel expose toutes les données nécessaires à la vue sous forme de Properties JavaFX (par exemple frequency, zo, circuitElements). Grâce au système d'observateurs de JavaFX, des **Listeners** sont attachés à ces propriétés dans le constructeur.

Dès qu'une valeur critique change (que ce soit la fréquence, l'impédance caractéristique ou l'ajout d'un composant), la méthode centrale recalculateImpedanceChain() est automatiquement déclenchée. Cela garantit que l'affichage est toujours cohérent avec les données, sans que la Vue n'ait besoin de demander explicitement une mise à jour.

### 6.2.2 La chaîne de calcul d'impédance

C'est le cœur de l'application. La méthode recalculateImpedanceChain(), comme son nom l'indique, calcule l'état du circuit actuel pour que la vue puisse ensuite afficher les éléments sur l'abaque de façon correcte.

On part de l'impédance de charge et on itère ensuite sur la liste des différents éléments qui constituent notre circuit. Pour chaque composant, on prend l'impédance calculée au composant précédent (ou bien si c'est le premier composant de la chaîne, on regarde l'impédance de la charge) et on calcule la nouvelle impédance en ajoutant le composant qu'on traite actuellement.

On fait cela jusqu'à ce que tous les éléments soient traités. Pour pouvoir avoir un affichage correct de toutes les étapes sur l'abaque, deux listes sont mises à jour, la liste dataPoints (pour le tableau de valeurs) et la liste measuresGamma (pour le dessin sur l'abaque).

### 6.2.3 L'interaction souris et l'historique

Le ViewModel gère également les interactions en temps réel comme le calcul des informations du point de l'abaque sur lequel la souris de l'utilisateur pointe grâce à la méthode calculateMouseInformations. Elle prend les coordonnées de la souris qui sont envoyées depuis la vue, et calcule l'impédance, l'admittance et toutes les valeurs liées à celle-ci pour que la vue les affiche. C'est une fonctionnalité clé de Smith.exe et il a été décidé de la remettre dans ce programme-ci.

Enfin, la classe intègre une gestion de l'historique (Undo/Redo) basée sur deux piles (Stack). Chaque ajout ou suppression de composant est enregistré comme une UndoRedoEntry, permettant à l'utilisateur d'annuler ou de rétablir ses actions. Concrètement, cela fonctionne comme lorsque l'utilisateur ajoute ou enlève un élément du circuit manuellement.

## 6.3 Dessin de l'abaque

Le premier challenge, après concevoir une interface plus ou moins agréable à utiliser, était de dessiner l'abaque de Smith. Tous les éléments sont disposés sur un Canvas de JavaFX qui me permet ensuite de récupérer le contexte graphique pour ensuite pouvoir dessiner mes traits par dessus.

Le rendu est géré par la classe SmithChartRenderer et se décompose en trois étapes successives, réexécutées à chaque redimensionnement de la fenêtre ou modification des données.

### 6.3.1 L'abaque lui-même

La méthode drawSmithGrid dessine les cercles de résistance et de conductance constantes, ainsi que les arcs de réactance et de susceptance. Pour ce faire, elle itère sur une liste de valeurs prédéfinies (0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 10.0), ce sont les mêmes valeurs prédéfinies que propose Smith.exe par ailleurs.

Une astuce technique utilisée ici est l'utilisation du clipping (gc.clip()). Plutôt que de calculer mathématiquement les intersections exactes des arcs avec le cercle extérieur, on dessine des cercles complets, et on demande au contexte graphique de masquer tout ce qui dépasse du rayon principal de l'abaque.

### 6.3.2 Les points d'impédance

La méthode drawImpedancePoints récupère la liste des coefficients de réflexion ($\Gamma$) calculés par le ViewModel. Comme le plan complexe de l'abaque de Smith correspond directement aux coordonnées cartésiennes du coefficient de réflexion, la projection sur l'écran est directe, la partie réelle de $\Gamma$ devient la coordonnée X et la partie imaginaire la coordonnée Y, le tout mis à l'échelle par le rayon du cercle.

### 6.3.3 Le tracé du circuit d'impédance

Après avoir dessiné les points d'impédance de chaque élément constituant le circuit, il reste la partie la plus complexe, relier ces points entre eux en respectant la physique de l'abaque. Ce chemin est généré par la fonction drawImpedancePath.

Contrairement à un graphique classique, on ne relie pas les points par des lignes droites. Le déplacement d'un point à un autre, suite à l'ajout d'un composant, suit toujours une trajectoire courbe spécifique (cercle de résistance constante pour une réactance série par exemple).

Pour dessiner cela, l'algorithme calcule d'abord le centre et le rayon du cercle de mouvement. Ensuite, il détermine l'angle de départ et l'angle d'arrivée. Enfin, il vérifie dans quelle direction tracer l'arc (horaire ou anti-horaire) selon la nature du composant (resistance, condensateur, etc.) et sa position dans le circuit.

# 7 Conclusion intermédiaire

Arrivé à ce stade, je considère que le projet a bien démarré. Les bases de l'application sont posées et l'architecture actuelle semble solide pour supporter la suite du développement. L'objectif principal de cette première phase, qui était d'avoir un prototype capable d'afficher l'abaque et de gérer les interactions de base, est atteint.

Le choix de Java et de JavaFX m'a permis de rapidement mettre en place un environnement de travail efficace. Comme c'est une technologie que je maîtrise, j'ai pu me concentrer sur la logique de l'abaque. Cela valide également l'approche MVVM choisie et très fortement suggérée par JavaFX, qui sépare bien les calculs mathématiques de l'interface graphique, rendant le code bien clair et structuré.

Pour la suite, je suis confiant car je suis légèrement en avance sur la planification initiale. Le but maintenant est de me concentrer sur les fonctionnalités plus complexes comme le Sweep et le Tuning.

# Bibliographie


[1] Ae6ty. « SimSmith (SimNec) ». Disponible sur : https://www.ae6ty.com/smith_charts/

[2] Coppens J. « linSmith ». Disponible sur : https://jcoppens.com/soft/linsmith/index.en.php

[3] Frith L. « Phillip Smith: From Amateur Radio Operator to Creator of the Smith Chart ». Disponible sur : https://www.allaboutcircuits.com/news/phillip-smith-from-amateur-radio-operator-to-creator-of-the-smith-chart/

[4] Rhea R. « Smith Chart History ». Disponible sur : http://smithchart.org/phsmith.shtml

[5] TME. « Impédance - comment elle est calculée et pourquoi est-elle importante ? ». Disponible sur : https://www.tme.eu/ch/fr/news/library-articles/page/57276/impedance-comment-elle-est-calculee-et-pourquoi-est-elle-importante-/

[6] Science Sanctuary. « Standing Wave Diagram ». Disponible sur : https://sciencesanctuary.com/

[7] Rohde & Schwarz. « Understanding the Smith Chart ». Disponible sur : https://youtu.be/rUDMo7hwihs?si=ffJWC7NbdH4x1xPe

[8] Sbyrnes321. « Smith Chart Explanation (Image) ». Disponible sur : https://en.wikipedia.org/wiki/Smith_chart

[9] Rabasté D. *L'abaque de Smith.*

[10] Dellsperger F. « Smith Chart V4.1 ». Disponible sur : https://www.fritz.dellsperger.net/smith.html

[11] Palexdev. « MaterialFX ». Disponible sur : https://github.com/palexdev/MaterialFX

[12] Paz M. K. « AtlantaFX ». Disponible sur : https://github.com/mkpaz/atlantafx

[13] « Explication de l'abaque de Smith (Vidéo) ». Disponible sur : https://www.youtube.com/watch?v=EoSJ1M%E2%80%93npg

[14] W2AEW. « Basics of the Smith Chart - Intro, impedance, VSWR, transmission lines, matching ». Disponible sur : https://www.youtube.com/watch?v=TsXd6GktlYQ

[15] Pierre Favrat B. H. *Physique de la transmission - Milieux câblés*. 2025.

[16] Tedjini S. *Abaque de Smith*. 2015.

# Figures



[5]Source : Logiciel Smith.exe

# Outils utilisés

Lors de la conception de ce travail de Bachelor, différents outils sont utilisés pour la rédaction du rapport et la conception du code.

## Programmation

L'IDE utilisé est IntelliJ. L'application étant développée en Java, IntelliJ de JetBrains est l'environnement que je maîtrise le mieux, ce choix était donc logique. Les technologies principales s'articulent autour de JavaFX version 25, qui nécessite JDK 23, pour la gestion de l'interface graphique. C'est le squelette du projet, l'ensemble de l'application repose sur cette bibliothèque, que ce soit pour le dessin de l'abaque ou pour la logique de l'interface utilisateur.

Un outil intéressant, supporté nativement dans IntelliJ, est JavaFX Scene Builder. À la manière de QtCreator, il permet de s'aider d'une interface visuelle pour créer les vues de l'application.

AtlantaFX [12] est une bibliothèque qui permet d'ajouter un thème moderne à l'application JavaFX. Cela évite de devoir créer des composants personnalisés pour les éléments simples et me permet de me focaliser sur l'écriture du code.

Ensuite, pour compiler l'application, j'utilise Gradle. C'est un concurrent à Maven qui est, d'après mon expérience, plus performant et plus stable.

## Conception

Le diagramme UML, réalisé en parallèle de l'écriture du code, est conçu avec l'outil PlantUML. Ce choix permet une approche programmatique de la modélisation, facilitant la mise à jour du diagramme au fur et à mesure de l'avancement du développement.

## Gestion de versions

Le projet étant individuel, un simple dépôt Git a été mis en place sur GitHub pour jalonner chaque étape. J'ai décidé de ne pas complexifier le processus avec la gestion d'issues pour le moment.

Le projet est organisé en deux dépôts, un pour l'application (le code source), et un second pour la partie académique (le rapport de TB).

## Rapport

L'entièreté du rapport est rédigée sur Typst, à l'aide de l'extension Tinymist Typst[6] sur Visual Studio Code. Ensuite, pour la correction d'éventuelles fautes d'orthographe, le logiciel Antidote[7] a été utilisé.

Ensuite le template Typst utilisé est un projet GitHub[8] créé par Christophe Roulin, un étudiant de l'HEIG.

## Utilisation de LLMs

Différents LLMs (Gemini et GPT majoritairement) ont été utilisés pour aider à la reformulation de certaines parties du rapport. L'outil GitHub Copilot a également été utilisé comme aide à la conception du code.

[6]Lien de l'extension : https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=myriad-dreamin.tinymist
[7]Lien du site : https://www.antidote.info/fr/
[8]Lien du repos GitHub : https://github.com/DACC4/HEIG-VD-typst-template-for-TB