

STING / TFE 2020  
(PFC em Duplo Diploma)

FRANZOI MAZZOLA ADRIAN

## Resumo Estendido do PFC Francês

### *Medições dimensionais de cabos de alta tensão*

EDF Les Renardières/R&D - Orvanne - França

*Período de estágio: 01/04/2020 a 31/08/2020*

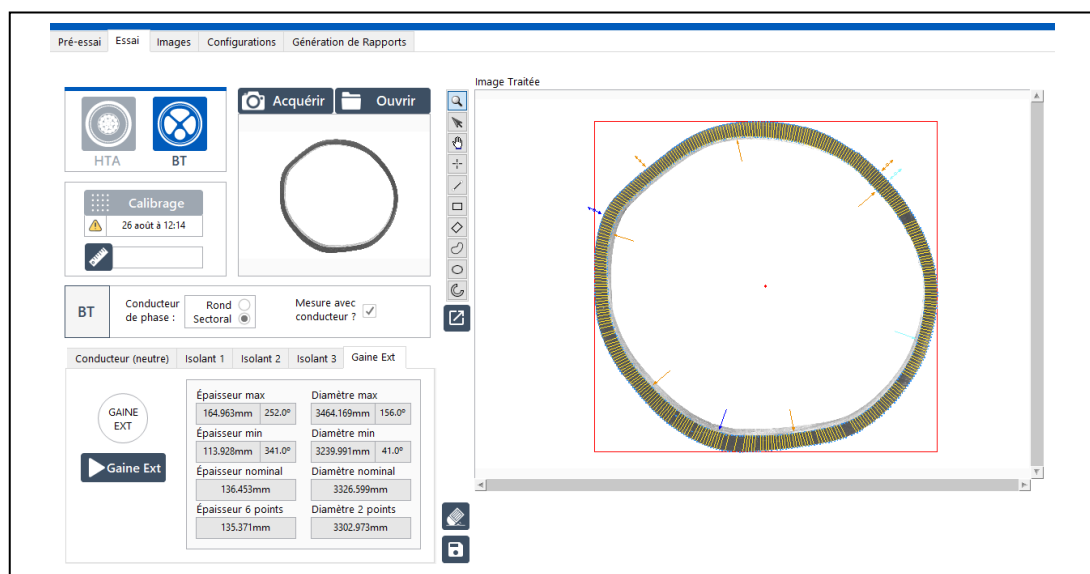
*Empresa: EDF Pesquisa & Desenvolvimento*

*Endereço: Avenue des Renardières, 77818 Moret Loing et Orvanne, França*

*Responsável empresa: François GAINARD*

*Universidade: École Centrale de Nantes (ECN)*

*Orientador ECN: Mohamed HAMIDA*



## Sumário

1. Introdução.....	3
1.1. Contexto e definição do projeto .....	3
1.2. Objetivo do projeto.....	3
2. Desenvolvimento .....	4
2.1. Primeira parte – Os desafios do reconhecimento.....	4
2.1.1. Reunião com a equipe de medições dimensionais da EDF .....	4
2.1.2. Primeiros resultados de identificação com a foto do cabo HTA .....	5
2.1.3. Reflexões sobre a verificação dos pontos identificados .....	7
2.1.4. Posicionamento e sistema de coordenadas.....	7
2.2. Segunda parte – A expansão das funcionalidades.....	8
2.2.1. Integração do <i>software</i> com a câmera.....	8
2.2.2. Primeiras imagens – O problema da sombra e da frequência.....	8
2.2.3. Exibição dos resultados de medições.....	9
2.2.4. O cabo BT .....	10
2.2.5. Um novo gerenciamento das imagens.....	13
2.2.6. Ideia de um suporte transparente .....	14
2.2.7. Calibração das medições .....	15
2.3. Terceira parte – O software .....	15
2.3.1. Um estudo sobre a lente da câmera .....	15
2.3.2. Base de dados e geração de relatórios .....	16
2.3.3. A interface final .....	16
3. Conclusão e agradecimentos .....	18
4. Anexo – Tutorial Medições Dimensionais e documento original .....	19
5. Bibliografia .....	20

## 1. Introdução

Este documento é um resumo estendido, em português, do PFC realizado pelo aluno Adrian Franzoi Mazzola durante seu Duplo Diploma na École Centrale de Nantes. O documento original foi escrito em Francês com título: “*Mesures Dimensionnelles de Câbles HTA et BT*”. Para consulta integral do conteúdo desenvolvido durante o estágio, verifique a versão original em francês em anexo.

Na universidade francesa, o equivalente do PFC tem nome STING/TFE e se trata de um projeto específico que deve ser realizado em uma empresa com duração de 5 a 6 meses. O objetivo do STING/TFE é colocar os alunos de engenharia numa posição de iniciativa para resolver ou contribuir para a resolução de um problema industrial predominantemente tecnológico ou técnico-econômico.

O estágio "Medições dimensionais de cabos de alta tensão" foi realizado dentro da divisão de Manutenção e Informática Industrial do grupo M26 do Laboratório de Equipamentos Elétricos (LME) da empresa EDF/R&D. Com realização de 01/04/2020 a 31/08/2020, ele consistiu no desenvolvimento de uma ferramenta de processamento e reconhecimento de imagem associada a uma câmera de alta definição. O projeto tem como objetivo capturar imagens de seções de cabos elétricos em tempo real e medir automaticamente as dimensões das diferentes camadas que o constituem. Essas medições são necessárias para o laboratório verificar se os cabos em questão estão respeitando as normas locais de segurança e qualidade.

### 1.1. Contexto e definição do projeto

Como parte de suas atividades de testes, o LECC (Laboratório de Teste de Cabos e Capacitores) do Grupo M22 da EDF R&D realiza medições dimensionais em nome da ENEDIS em cabos HTA (Alta Tensão) e BT (Baixa Tensão). Esses cabos possuem algumas diferenças estruturais que serão exploradas adiante nesse documento.

Historicamente, as medições dimensionais eram realizadas de forma semi-automática usando um projetor de perfil digital AYONIS ICM 200+ e manualmente usando um projetor de perfil óptico LEITZ. No entanto, a calibração credenciada pela COFRAC (comitê de acreditação francês) do projetor AYONIS não podia ser realizada devido às limitações do software do dispositivo, já muito antigo. Sendo assim, o equipamento deixou de ser utilizado e até então os ensaios de medição dimensional tiveram que ser realizados exclusivamente de forma manual, o que envolveu tempos de ensaio e análise consideravelmente longos.

### 1.2. Objetivo do projeto

O objetivo principal deste projeto é a renovação do projetor de perfil digital através da troca da câmera e do desenvolvimento de um novo software de inspeção e medição por visão computacional. Esse software será realizado do zero em LabVIEW e deve ser capaz de controlar a câmera industrial para capturar imagens das amostras de cabos, identificar as diferentes camadas nessas amostras e medi-las. Como resultado direto dessa renovação, pretende-se

reduzir consideravelmente o tempo de realização dos ensaios de medição dimensional e, ao mesmo, permitir ao equipamento a acreditação COFRAC.

## 2. Desenvolvimento

A fim de facilitar a compreensão dos problemas encontrados e das soluções propostas/desenvolvidas para cada etapa do estágio, iremos dividir este documento em três partes:

1ª parte – Os desafios do reconhecimento: Esta parte detalha os primeiros contatos com a empresa, o início da experiência com reconhecimento de imagem e o trabalho desenvolvido em LabVIEW durante um período em que se tinha apenas uma foto de um cabo HTA (Figura 1). Esta parte contém principalmente o trabalho dos primeiros 2 meses, realizado tanto em home office quanto na empresa, devido à crise sanitária do COVID-19.

2ª parte – A expansão das funcionalidades: Esta parte explica a integração do software com a câmera do projeto, o desenvolvimento de funções para trabalhar com os cabos BT e diversas melhorias e criação de funcionalidades nas ferramentas de medição dimensional. Além disso, ela descreve os problemas encontrados ao testar os métodos desenvolvidos até então em imagens de outros cabos, não necessariamente idênticos à imagem de base fornecida. Esta seção detalha a continuação das atividades no local de trabalho até o início do último mês.

3ª parte – O software: Parte final de detalhamento das atividades das últimas semanas de estágio, com foco na versão final do software desenvolvido e sua utilização no laboratório de medições dimensionais.

### 2.1. Primeira parte – Os desafios do reconhecimento

O estágio teve início em um momento bastante peculiar. Inicialmente estava previsto para se começar presencialmente na EDF Les Renardières no dia 1 de abril de 2020, mas nesse período ocorreu o surto da pandemia do COVID-19 na França. Esse evento acarretou no cancelamento das aulas presenciais na École Centrale em meados de março e, posteriormente, no confinamento obrigatório em todo o território francês. Durante estas semanas incertas do final de março, a École Centrale de Nantes permitiu aos seus alunos iniciarem os estágios em *home office*, desde que a empresa estivesse de acordo. No meu caso, como o trabalho a ser desenvolvido necessitava, nessa etapa inicial, apenas de um software que eu poderia instalar no meu computador, a empresa concordou em iniciar as atividades em *home office* até receber novas instruções do governo francês.

#### 2.1.1. Reunião com a equipe de medições dimensionais da EDF

Durante a primeira semana, participei de uma reunião para entender melhor as medições que o laboratório da EDF realiza atualmente e compreender, na sequência, o que o software a ser desenvolvido precisaria ser capaz de identificar e medir. Como existem duas categorias de

cabos muito diferentes, HTA (para redes de distribuição de alta/média tensão) e BT (baixa tensão), esta reunião foi voltada apenas aos cabos HTA e suas várias camadas.

A melhor maneira de explicar como essas camadas se organizam é mostrando uma foto da seção de um cabo HTA. Felizmente, a EDF possuía fotos desse tipo de cabo em excelente qualidade com dimensão de 5197x4793 pixels e de cerca de 70MB de armazenamento. Essas fotos permitiram uma boa compreensão dos problemas a serem solucionados e das expectativas da empresa com o projeto. Elas também foram essenciais para os primeiros testes de processamento de imagem que estavam começando a ser desenvolvidos.

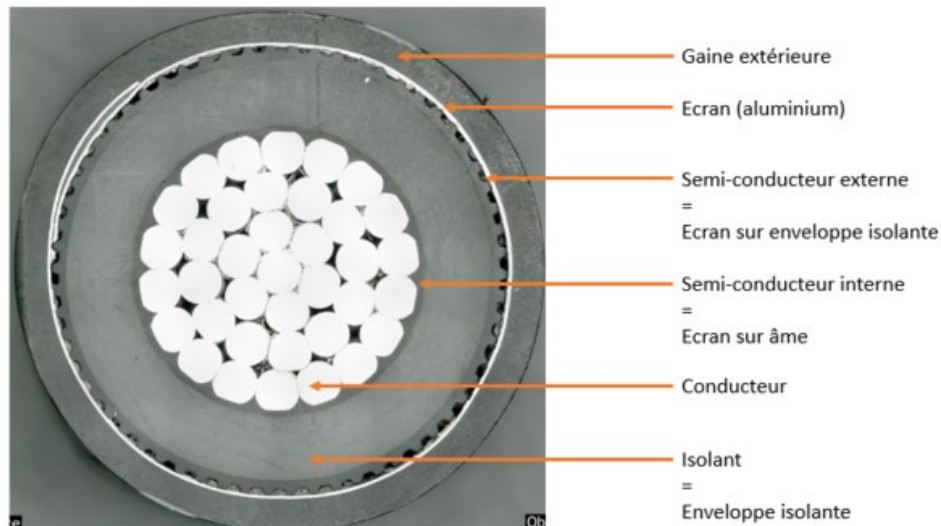


Figura 1 - Camadas de um cabo HTA

Para cada camada existem normas técnicas que especificam exatamente como fazer as medições (a lista completa de normas pode ser encontrada na bibliografia). Essas normas foram disponibilizadas para leitura e o software a ser desenvolvido deveria respeitá-las em 100%.

### 2.1.2. Primeiros resultados de identificação com a foto do cabo HTA

Com a foto do cabo à disposição e já uma base em LabVIEW VISION (grupo de funções específicas para processamento de imagem), foquei nas funções de identificação com o intuito de isolar as camadas do cabo. Sempre com a ideia de pré-processamento em mente, o ideal seria remover completamente as camadas da imagem que não nos interessam e realizar as medições camada por camada.

Primeiro, identifiquei uma diferença perceptível no contraste entre o condutor e o resto do cabo. O mesmo acontecia com a tela metálica (*écran métallique*). Essas duas camadas são vistas quase em branco perfeito e, de fato, com funções que analisam o contraste, consegui isolar essas duas camadas:

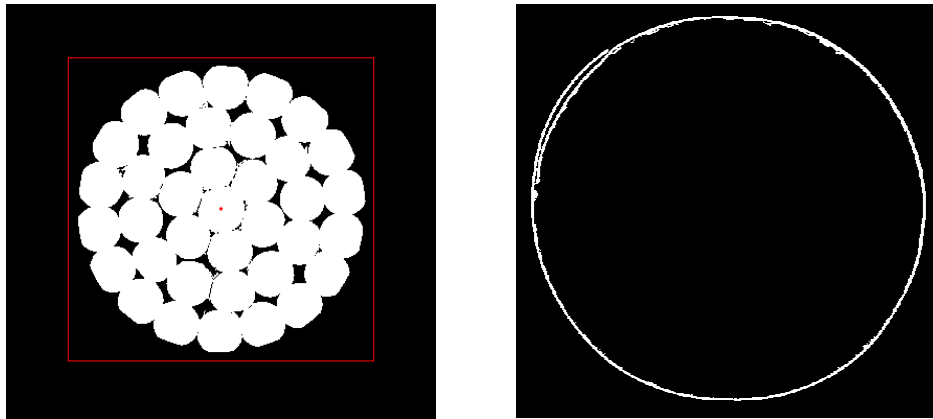


Figura 2 - Primeiros resultados de identificação

Esses primeiros resultados foram bastante positivos e o ideal seria conseguir fazer tal isolação para todas as outras camadas também. Entretanto, a identificação por diferença de contraste geral não era adequada para as outras camadas pois as variações eram muito sutis. Sendo assim, outros métodos foram testados e o que trouxe os resultados mais positivos foi o método de detecção de borda *Edge Detector*. Esta função permite definir as características da borda que se deseja encontrar. Por exemplo, se é uma mudança de preto para branco ou vice-versa e qual é a diferença de contraste mínima necessária. Abaixo, um exemplo em que a função encontra com precisão o ponto de borda (Figura 3):

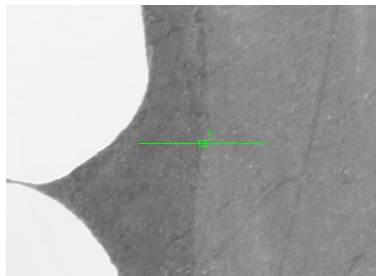


Figura 3 - Edge Detector

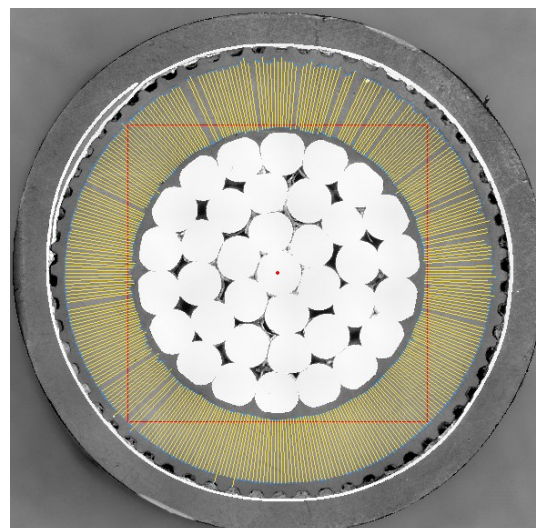


Figura 4 - Medições de espessura da camada "Isolante"

Se fizermos uma linha de busca como acima em cada borda de uma camada do cabo, poderemos medir a sua espessura e diâmetro com precisão. Sendo assim, precisa-se pensar em como posicionar essas Linhas de Busca (LB) para encontrar os pontos de borda desejados e, ao mesmo tempo, pensar em como automatizar esse procedimento. A solução foi desenvolvida em LabVIEW com um sistema de coordenadas para saber onde posicionar as linhas de busca ao longo de um eixo horizontal em conjunto com uma função trigonométrica desenvolvida para projetar essa linha nos 360 graus de um círculo. Para cada ângulo, um ponto interno e um ponto externo foram identificados e uma linha amarela de medição de espessura foi desenhada. No total, 360 medições, conforme Figura 4.

### 2.1.3. Reflexões sobre a verificação dos pontos identificados

Estava claro que, independentemente da qualidade da foto, poderíamos ter pontos de borda mal identificados e um único ponto incorreto poderia invalidar todas as medidas. Isso ocorre pois estamos procurando justamente os pontos extremos máximos e mínimos, nos quais uma dessas medidas incorretas tem grandes chances de aparecer.

Nesse caso, desenvolvi uma abordagem que considerava os pontos identificados anteriormente para julgar se o ponto atual estava na posição esperada ou não. Por exemplo, se tivermos a posição do ponto identificado em  $0^\circ$  e conhecermos o centro do cabo, poderíamos fazer um círculo concêntrico ao cabo e que passe perfeitamente pelo ponto identificado em  $0^\circ$ . Dessa forma, nas proximidades de  $0^\circ$  este círculo é bastante preciso. A ideia, a partir de então, é calcular qual seria a posição do ponto de  $1^\circ$  neste círculo e usar essa informação durante a identificação do ponto de  $1^\circ$  para decidir se o ponto foi identificado corretamente ou não.

As funções de avaliação de pontos que foram aplicadas na prática são mais complexas e têm variações dependendo de qual camada se esteja identificando. No entanto, a ideia básica é a descrita no parágrafo anterior. Essa verificação auxiliar para julgar se os pontos estão sendo bem identificados é muito importante para garantir a acurácia das medições realizadas e ela conta com vários mecanismos para minimizar os erros.

### 2.1.4. Posicionamento e sistema de coordenadas

Para fazer as medições apresentadas na Figura 4, tive que primeiro reconhecer a posição do centro do cabo para, a partir desta informação, posicionar corretamente as linhas de busca interna e externa de cada camada. Com as funções de reconhecimento geométrico do VISION, consegui definir um modelo de busca e reconhecer automaticamente a parte central do cabo. Como normalmente de um cabo para outro existem apenas pequenas variações nas dimensões, é suficiente colocar as linhas de busca sempre na mesma posição. De fato, a ideia da linha de busca é justamente ter uma área estimada em que o ponto de borda possa estar localizado.

Dessa forma, mesmo se o cabo se desloque vertical ou horizontalmente na imagem, as funções de sistema de coordenadas sempre conseguem identificar o centro e posicionar corretamente as linhas de busca para as medições. Além disso, nós podemos ter a câmera mais próxima ou mais distante do cabo, fazendo com que ele seja visto ampliado ou reduzido. O *software* precisa se adaptar a essas variações e, portanto, funções complementares foram criadas para garantir a correta identificação independentemente da posição e ampliação do cabo elétrico. Diversos testes foram realizados para confirmar o bom funcionamento.

Com essas referências, os métodos para medição de espessura e diâmetro para cada uma das diferentes camadas foram realizados, sempre partindo da mesma lógica de mapear pontos a cada grau do círculo e realizar as medições necessárias. Para mais informações sobre as medições em cada uma das seis camadas, favor consultar o vídeo tutorial ou documento original em anexo.



## 2.2. Segunda parte – A expansão das funcionalidades

### 2.2.1. Integração do *software* com a câmera

A EDF comprou para o projeto uma câmera de 20 megapixels da marca FLIR, modelo *Blackfly S*. Junto com a câmera, encomendou uma placa de comunicação via Ethernet Gigabit para transmissão de dados em alta velocidade. A câmera possui software de comunicação próprio, *Spinview*, de fácil configuração para capturar as primeiras imagens e mudar parâmetros da câmera. Esse software foi bastante útil, inicialmente, para identificar quais parâmetros seriam interessantes de serem controlados e como eles poderiam afetar na qualidade final da imagem capturada. Os quatro parâmetros selecionados como interessantes para se controlar foram: Tempo de Exposição, Ganho, Gama e Nível de Preto.

A partir desse momento seria necessário estabelecer a comunicação através do LabVIEW e integrar a funcionalidade de captura no software de medições dimensionais. Com utilização do grupo de funções dedicadas à captura de imagens, desenvolveu-se uma interface com um display para visualização da imagem em tempo real e uma barra de parâmetros editáveis. Sendo assim, o usuário pode iniciar uma captura, alterar os parâmetros conforme for necessário e salvar a imagem para posterior utilização nas funcionalidades de medições. Essa ferramenta pode ser vista na seção final que detalha o software e no vídeo explicativo, em francês, de como utilizá-lo (Anexo Tutorial).

### 2.2.2. Primeiras imagens – O problema da sombra e da frequência

As primeiras imagens capturadas se assemelhavam à Figura 5, na qual temos dois problemas visíveis – A interferência da sombra do próprio cabo e a presença linhas horizontais escurecidas.

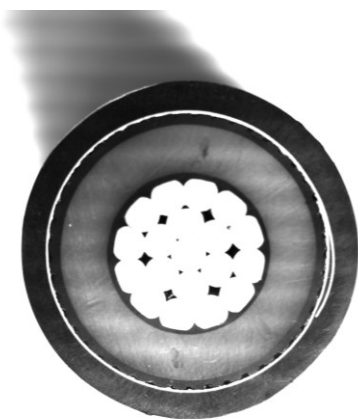


Figura 5 - Imagem com interferências

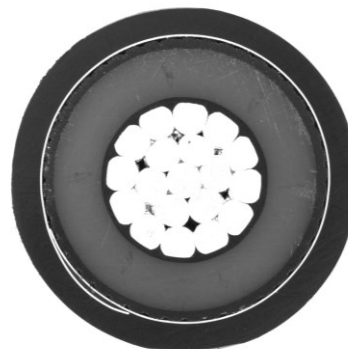


Figura 6 - Imagem perfeita

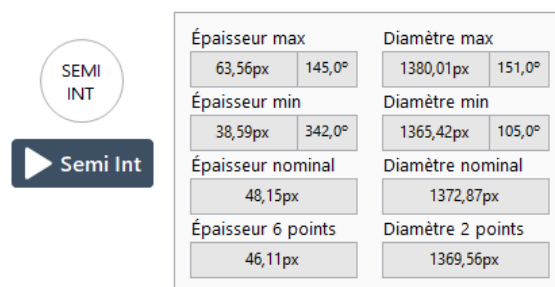


Inicialmente o projeto contava com uma única fonte de luz lateral e, como as amostras possuem uma altura considerável, as imagens eram capturadas com sombra de um dos lados. Ter sombra na imagem dificulta o reconhecimento porque o software não consegue distinguir a sombra das bordas da amostra de cabo. Desta forma, o software pode se confundir da real posição da amostra na imagem e colocar os pontos de medição incorretamente. A solução foi comprar uma lâmpada em anel. Dessa forma, poderíamos ter a câmera posicionada no centro com um anel de luz ao seu redor para iluminar perfeitamente todos os lados da amostra. Antes de decidir qual modelo comprar, foi analisado o outro problema das imagens – as linhas pretas – pois ele poderia ter relação com o tipo de iluminação.

Como as linhas pretas apareceram apenas nos testes no laboratório na EDF, inicialmente se pensou que fosse um problema de configuração da câmera ou de sua porta de comunicação Ethernet. Diversos testes com configurações diferentes foram realizados, mas sem sucesso na remoção das marcas. Ao alterar o parâmetro de taxa de captura de imagens, notou-se que as marcas pretas se moviam verticalmente e, com isso, se percebeu que o real problema estava ligado à frequência da iluminação utilizada! A lâmpada do laboratório era fluorescente, com frequência de 50Hz e a câmera operava a, no máximo, 5Hz. O resultado era a presença das zonas escurecidas. Para resolver o problema seria necessária uma câmera com taxa de atualização superior a 50Hz ou uma fonte de iluminação contínua. Optou-se, sendo assim, pela compra de um anel em LED, resolvendo os dois problemas supracitados.

### 2.2.3. Exibição dos resultados de medições

Com a norma técnica à disposição, era hora de extrair do grupo de resultados de cada camada as medidas exigidas pela norma. Para o caso dos pontos extremos mínimo e máximo, era apenas necessário filtrar esses valores. Porém, para uma medição de valor médio, por exemplo, a norma orienta realizar a média com seis medições radiais, espaçadas de aproximadamente 60°, com o ponto mínimo como referência. Nesse caso, uma medição de média com todos os pontos de medição do software dá um resultado ligeiramente diferente da média com os seis pontos, mas que também pode ser interessante. Por este motivo, a tabela de resultados elaborada contém as medições exigidas de acordo com a norma e, quando possível, outras medições de orientação.



The screenshot shows a software interface with a play button and the text 'Semi Int'. To the right is a table of measurement results:

Épaisseur max	63,56px	145,0°	Diamètre max	1380,01px	151,0°
Épaisseur min	38,59px	342,0°	Diamètre min	1365,42px	105,0°
Épaisseur nominale	48,15px		Diamètre nominale	1372,87px	
Épaisseur 6 points	46,11px		Diamètre 2 points	1369,56px	

Figura 7 - Exibição dos resultados de medição

Até então, os resultados eram medidos apenas em pixels e para tê-los em milímetros seria necessário primeiro passar por uma etapa de calibração para informar ao software quanto um pixel identificado mede em unidades de comprimento. Esta etapa de calibração só foi desenvolvida posteriormente.

Além da tabela com os valores chave escritos, pensou-se em uma outra forma de mostrar os resultados de modo mais interativo ao usuário. A ideia é de desenhar flechas de indicação interativas nos ângulos onde cada ponto chave se localiza. Assim que se passa o mouse sobre uma dessas setas, uma caixa é exibida com as informações de medição correspondentes. Esse tipo de interação não é visto com frequência no LabVIEW e traz um toque de modernidade bastante importante.

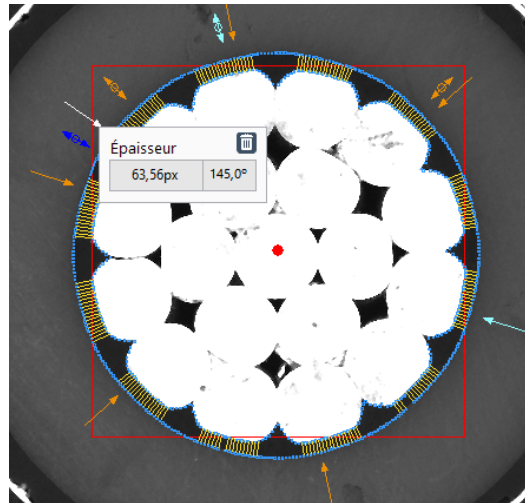


Figura 8 - Interações com os resultados

As setas em azul claro representam os pontos mínimos e as em azul escuro, os pontos máximos. As outras setas laranja indicam as medidas usadas para fazer as médias de 6 pontos, segundo a norma.

#### 2.2.4. O cabo BT

O desenvolvimento até o momento estava voltado aos cabos HTA, um cabo de seção redonda e simétrica. Todas as imagens já apresentadas são deste tipo de cabo e ele apresenta múltiplas vantagens em termos de reconhecimento de imagem. Para identificar as diferentes camadas, bastou orientar-se no cabo HTA com um sistema de referências e aplicar a ideia geral de posicionamento dos pontos internos e externos de cada camada de grau em grau.

Por outro lado, o cabo BT tem uma estrutura completamente diferente. Não é simétrico, nem circular e pode possuir condutores redondos, mas também condutores setoriais. Abaixo tem-se a imagem em alta definição de um cabo BT com condutores setoriais que me foi fornecida.



Figura 9 - Imagem fornecida de um cabo BT

Seria necessário recomeçar do zero com as funções VISION para desenvolver métodos capazes de medir essas estruturas. Entretanto, as formas e irregularidade do cabo da Figura 9 o tornavam bastante difícil de ser dividido em camadas independentes. Felizmente, ao entrar em contato com a equipe de medições dimensionais, fui informado que esse tipo de cabo tinha seus constituintes medidos separadamente. Ele seria “desmontado” para medição de cada camada separadamente e, portanto, iniciou-se o desenvolvimento para medição dos três condutores de fase, condutor de neutro e envelope externo.

Iniciou-se primeiro com componentes semelhantes aos que possuía o cabo HTA: o envelope externo e o condutor de neutro (circular na Figura 9). Além do trabalho direto do desenvolvimento dessas funções, houve uma importante evolução do software, tanto estrutural quanto visual para se adequar ao tratamento dos dois tipos diferentes de cabos.

### *O condutor de neutro*

É um condutor redondo e aparece na câmera em branco sólido. É semelhante a um cabo HTA, pois poderíamos imaginar que o condutor de neutro é um cabo completo sem camadas internas. Neste caso, o método utilizado para identificar o envelope externo do cabo HTA pode ser adaptado para esta nova função, com a incorporação de algumas modificações. Na Figura 10 é apresentada a medição do diâmetro desse condutor, com indicação dos pontos mínimos e máximos.

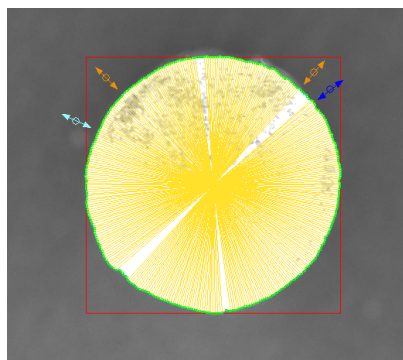


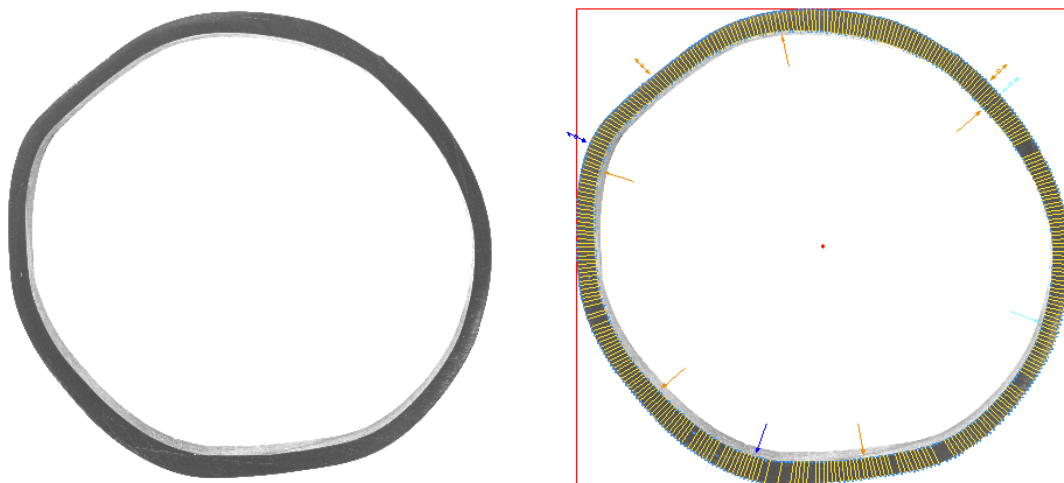
Figura 10 - Medição de um condutor de neutro

### *O envelope externo*

O envelope externo do cabo BT é circular, porém um pouco deformado. Portanto não podemos considerar seu raio uniforme devido a essas pequenas variações. Nessas condições, se fôssemos usar o método desenvolvido para cabos HTA, as linhas de busca (LB) identificariam corretamente as bordas em algumas regiões do cabo, mas falhariam em outras partes onde o raio seria muito maior ou menor.

Portanto, foi necessário mudar o método e fazer toda uma gama de funções adaptativas de raios. Essas funções são agrupadas no software sob o nome de “*AdaptEdgeDetector*” e também usam o princípio de dividir o cabo em 360 graus, mas a posição de cada LB também depende do raio formado pelo ponto anteriormente identificado. Se o raio começar a diminuir ou aumentar, as linhas de busca se adaptam, sempre mantendo a etapa de validação de pontos para julgar se eles foram identificados corretamente ou não.

A medição desta camada parece simples, mas os métodos por trás para medi-la e avaliar se a medição está correta são bastante sofisticados. Algumas dificuldades únicas são a visualização de uma parte interna do cabo, que não deve ser medida (Figura 11) e a distorção do cabo que pode variar bastante de uma amostra para outra.



*Figura 11 - Identification de la Gaine Extérieure BT*

### *Os condutores de fase*

O condutor de fase setorial foi certamente o componente mais difícil de se medir devido à sua forma ligeiramente triangular, sem um centro definido. Muitas funções e métodos foram desenvolvidos para tentar refinar os resultados da medição e vários dias de trabalho foram dedicados a isso. Por fim, toda uma gama de funções adaptativas de detecção de bordas exclusivamente para condutores de fase foi desenvolvida. Isso foi necessário porque nesses componentes não era possível encontrar um centro e fazer medições com um incremento de ângulo – forma usada até então para a maioria das camadas.

Como solução, foi desenvolvida uma função que se adapta à borda do objeto para poder identificar um objeto com forma qualquer. Para cada ponto externo encontrado, era necessário identificar um ponto interno perpendicular à superfície do objeto naquele ponto. Encontrar esse ponto perpendicular com precisão não era tão simples e foi desenvolvido um método que traça diversas linhas nas proximidades da linha perpendicular e seleciona aquela cujo ponto identificado retorna a menor espessura. Para mais detalhes sobre o funcionamento desse método, consulte o documento original.

Como para esse componente apenas a medida de ponto mínimo era relevante, segui a norma para dividir o condutor de fase setorial em seis zonas e, para cada uma delas, retornar o ponto de espessura mínima. Também é informado o ponto de mínimo global, conforme imagem abaixo:

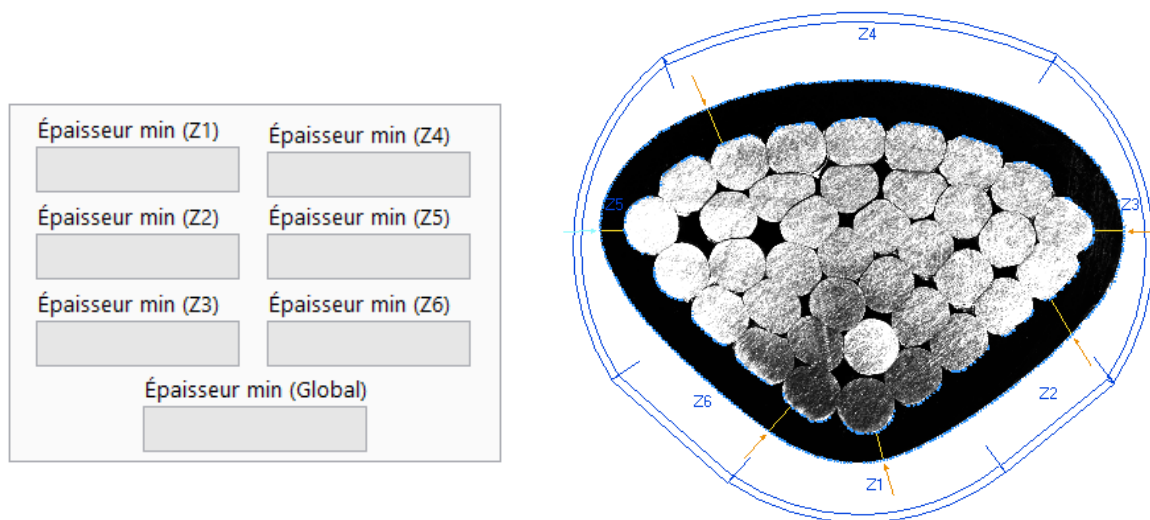


Figura 12 - Solução proposta para o condutor setorial

O software identifica automaticamente a orientação do condutor e posiciona as zonas sempre da mesma forma. Este posicionamento pode parecer simples, mas várias funções trabalham juntas para fazê-lo corretamente. A zona 1 é sempre a zona que mede os pontos da ponta em "V" do condutor. As outras zonas são colocadas no sentido anti-horário a partir da primeira zona.

### 2.2.5. Um novo gerenciamento das imagens

Ao decorrer do projeto, viu-se que o número de diferentes imagens para fazer as medições era elevado. Cada parte do cabo BT seria medida separadamente e, mesmo para o cabo HTA, além da medição em conjunto, seria necessário medir as camadas separadamente para remover as tensões mecânicas. O plano, até então, era carregar/capturar a imagem apropriada e pressionar o botão correspondente àquela camada para fazer uma medição. Entretanto, colocar uma imagem incorreta ou pressionar outro botão no local acarretaria em um erro de medição que não poderia ser evitado pelo programa.

Sendo assim, pensou-se em uma nova forma de fazer o gerenciamento das imagens. Agora, sempre que uma imagem fosse capturada, seria solicitado ao usuário selecionar qual é a

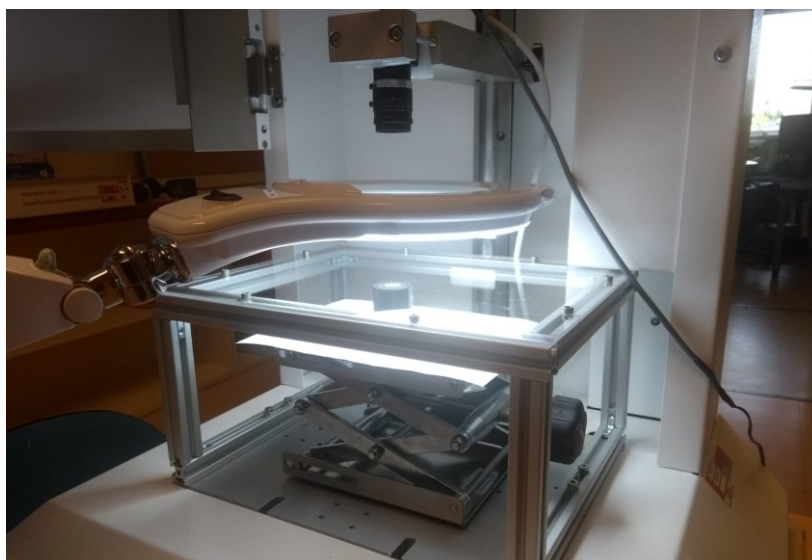
camada que consta na imagem. Dessa forma, o programa poderia estocar essas imagens em uma aba específica (aba “*Images*”) e apenas habilitar uma medição do condutor de neutro se essa imagem já estivesse carregada no sistema, por exemplo. Ao total a ferramenta pode receber 13 tipos diferentes de imagens, sendo um deles o padrão de calibração que será visto adiante.

#### 2.2.6. Ideia de um suporte transparente

Desde o início deste projeto, meu objetivo era entregar uma solução final o mais completa possível. Não apenas com um software eficiente e intuitivo, mas também com minhas contribuições para a manipulação das amostras e captura das imagens.

Depois de integrar a ideia de gerenciamento de imagens, percebi que as amostras dessas diferentes imagens tinham alturas que variavam. O envelope externo media alguns milímetros, mas o condutor de neutro poderia medir centímetros. As amostras eram seccionadas de forma diferente e essa diferença de altura era um problema para a calibração. A calibração ocorre quando há uma distância fixa entre a câmera e a superfície da amostra. Neste caso, o software recebe a informação de quanto mede um pixel em comprimento e consegue mensurar os cabos. Porém, com amostras de alturas diferentes, seria necessário fazer a etapa de calibração a cada vez, pois a distância entre a câmera e a amostra variaria!

Como solução, sugeri colocar uma placa transparente a uma distância fixa da câmera. Com este elemento posicionado, poderíamos usar um elevador de laboratório para compensar a altura das amostras e manter sempre contato com a superfície transparente. Desta forma a distância entre a câmera e a superfície das amostras seria sempre a mesma e poderíamos fazer a calibração apenas uma vez antes de um ensaio. Segue abaixo a solução final construída e implementada para o projeto.



*Figura 13 - Implementação física do projeto*

Os funcionários da EDF ficaram entusiasmados com essa ideia e bastante satisfeitos com a praticidade que a plataforma transparente trouxe. Ela foi construída durante o estágio e testada na versão final do projeto.



### 2.2.7. Calibração das medições

A calibração das medições é necessária para mostrar os resultados em milímetros. O próprio sistema VISION do LabVIEW possui uma interface para isso, o “*VISION Calibration Training*”. A ideia desse assistente é que se defina um modelo de calibração a partir de uma imagem que possua estruturas que se conheçam as dimensões. A estrutura mais utilizada em visão computacional é um grid de calibração. Esse grid possui diversos pontos espaçados uniformemente em uma espécie de malha de pontos que permite que o sistema de visão corrija distorções e faça a calibração.

Na versão final, o usuário deve começar as medições colocando o grid de calibração no elevador de laboratório como se fosse uma amostra. Após isso, basta seguir a interface de calibração que fará todo o processo e salvará o arquivo de calibração para que todas as medições sucessivas sejam em milímetros.

## 2.3. Terceira parte – O software

Esta seção detalha as atividades das últimas semanas de estágio, com foco na versão final do software e nas últimas modificações realizadas. Além das informações escritas nesta seção, recomenda-se assistir ao vídeo tutorial de utilização (Tutorial Medições Dimensionais) para entender completamente como o software funciona. O vídeo explica os diferentes recursos que o programa oferece e faz um passo-a-passo de um ensaio de medição em um cabo. O vídeo tem aproximadamente 24 minutos de duração e é dividido em 7 seções. Acesse-o no link abaixo:

« <https://drive.google.com/file/d/1F6Gb9xVdb8hhEQ24c8Y91F8TKOdKd4DC/view> »

### 2.3.1. Um estudo sobre a lente da câmera

O laboratório da EDF já possuía uma lente do modelo FUJINON HF25HA-1B específica para o projeto. Essa lente pertencia ao velho equipamento AYONIS e não foi renovada – apenas a câmera havia sido substituída. Entretanto, ao verificar a exigência das normas técnicas, percebeu-se que seria necessário ter uma resolução um pouco maior para atender a 100% das especificações. A resolução por si só depende da câmera e corresponde ao tamanho da imagem digital, nesse caso **5472x3648 pixels**. Porém, a lente pode interferir na relação entre pixel/milímetro de algumas formas.

Sendo assim, dedicaram-se algumas horas para o completo entendimento do funcionamento das lentes e suas características, como distância focal, ângulo de visão, distância de trabalho, entre outros.

Como resultado dessas pesquisas, decidiu-se que seria possível manter a lente atual para atender às exigências da norma desde que se comprasse um conjunto de tubos de extensão de 5, 10 e 15mm. Um tubo de extensão é um simples cilindro oco que é inserido entre o sensor da câmera e sua lente. Ele produz uma mudança direta na distância focal e assim podemos



reduzir o campo de visão, como uma função de "zoom". Isso faz com que a amostra ocupe mais pixels na imagem e, portanto, possua uma maior resolução.

Entretanto, também foi visto que a lente em posse pelo laboratório foi feita para câmeras de, no máximo, 1,5MP. Como a nova câmera do projeto era de 20MP, a utilização dessa lente poderia acarretar em uma perda de qualidade na imagem. Por essa razão, decidiu-se comprar o conjunto de tubos de extensão e também uma nova lente, adaptada para câmeras de 20MP no intuito de melhorar ainda mais os resultados. O modelo comprado foi o FUJINON CF50ZA-1S.

### 2.3.2. Base de dados e geração de relatórios

Ao utilizar o software, sempre há informações da sessão anterior que gostaríamos de deixar gravadas. Por exemplo, o endereço da pasta para salvar relatórios, as configurações de captura da câmera ou configurações do ensaio. A única maneira de fazer isso é armazenar esses valores em outro arquivo, pois o código do aplicativo é estático.

Como solução, poderíamos salvar em um banco de dados ou em um arquivo de texto simples (.ini). A decisão de fazer ou não um banco de dados depende da quantidade e complexidade das informações que desejamos armazenar. Neste caso, são apenas algumas configurações simples de configurar e que não aumentam com o tempo. Todas as informações relativas aos ensaios não serão armazenadas no banco de dados, pois o volume de dados seria considerável e é mais apropriado gerar um relatório em Excel ao final do teste.

Levando em consideração essas informações, o "banco de dados" foi estruturado com dois arquivos .ini (config.ini e BD.ini) e um arquivo .csv (DonneesRapport.csv):

A funcionalidade de geração de relatório usa o arquivo DonneesRapport.csv para preencher automaticamente um arquivo Excel de acordo com um modelo de planilha escolhido pelo usuário. Os dados são sempre escritos na aba "LabVIEW" e, paralelamente, o relatório é preenchido automaticamente com relações simples entre as células. Desta forma, independentemente da evolução dos modelos do departamento LME, o software será sempre capaz de fornecer as informações necessárias.

A geração de relatórios está associada a uma aba de mesmo nome na interface do software e os resultados de medições já registrados são exibidos nela. Para obter mais informações, consulte o tutorial em vídeo da aplicação.

### 2.3.3. A interface final

A interface final contém várias abas e seções que mudam se você está no modo de medição HTA ou BT. A maneira mais fácil de ver todos esses detalhes é assistir ao vídeo tutorial que mostra os recursos em um exemplo de ensaio.

Contudo, por meio das imagens a seguir, serão apresentadas algumas das interfaces desenvolvidas na última versão do software. O programa é dividido em 5 abas: Pré-ensaio, Ensaio, Imagens, Configurações e Geração de Relatórios.

**Pré-ensaio:** Como uma página de boas-vindas, também serve para inserir as informações de base de um ensaio. Por exemplo, o técnico que o realiza, as normas de referência, o fabricante, entre outros. Essas informações serão utilizadas na etapa final de Geração de Relatórios. Segue imagem desta aba:

Figura 14 - Aba "Pré-ensaio" do programa

**Ensaio:** Durante o ensaio, podemos escolher entre uma medição de cabo de HTA ou BT. Dependendo da escolha, o software apresenta as opções que permitem medir todas as camadas desse tipo de cabo, caso as imagens já tenham sido capturadas e estejam na aba "Imagens".

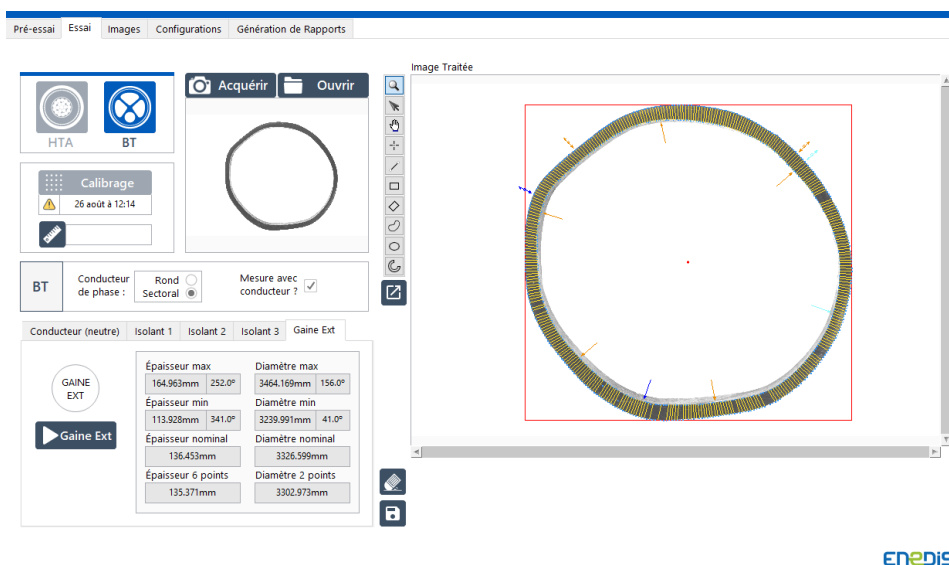


Figura 15 - Aba "Ensaio" do software

Por se tratar de um resumo, as outras três abas complementares não são apresentadas neste documento (Imagens, Configurações e Geração de Relatórios). Para mais informações sobre o seu funcionamento, verifique o documento original e o vídeo tutorial.

### 3. Conclusão e agradecimentos

Este estágio foi uma excelente experiência que me desafiou de diferentes maneiras. Por um lado, pude aplicar meu conhecimento em LabVIEW para desenvolver uma ferramenta nova em processamento de imagens, com o uso de uma gama de funções que eu não conhecia e que são muito poderosas. Além disso, este estágio foi a minha primeira experiência profissional de longa duração na França, muito importante para a minha formação e como porta de entrada no mercado de trabalho francês.

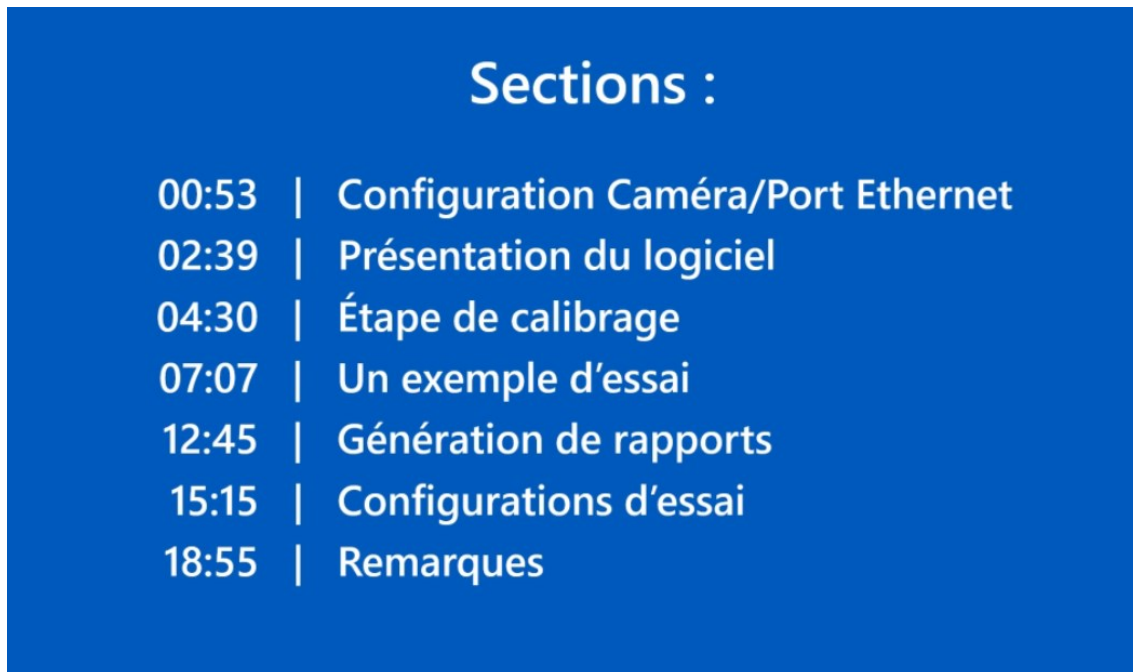
A área de automação na engenharia sempre me atraiu bastante, principalmente aquela com um enfoque prático reforçado, na qual realizamos a programação e, paralelamente, vemos os resultados concretos. Este estágio mostrou-me o potencial do processamento e reconhecimento de imagem e, conforme a descrição acima, foi uma experiência na qual realizei diversas funcionalidades de visão computacional e pude ver os resultados de forma palpável nas medições dos cabos elétricos.

Com essas motivações, trabalhei para entregar uma solução final o mais completa possível. Me dediquei diretamente à programação e ao desenvolvimento em LabVIEW, mas também com grande enfoque em outros aspectos do projeto. Como, por exemplo, a proposta do suporte transparente para a calibração e o estudo das lentes das câmeras para a escolha de outro modelo mais adequado ao projeto. Tenho a certeza que estes esforços foram muito bem reconhecidos pela EDF, que não poupou elogios durante o período de estágio e também através da ficha de avaliação final, em que atribuíram pontuação máxima em todas as categorias.

Espero que o software seja de grande utilidade para a EDF e aproveito este espaço para agradecer ao meu tutor de estágio, François GAINARD, pela total disponibilidade e atenção durante o decorrer do estágio. Agradeço também ao Hervé AVEMANI, por todos os seus conselhos e sugestões em programação LabVIEW. Por fim, gostaria de agradecer ao Theo BONNET e Bruno MONTENAT pela paciência e profissionalismo ao transmitir todas as informações referentes aos ensaios de medição dimensional.

#### 4. Anexo – Tutorial Medições Dimensionais e documento original

O tutorial é uma excelente forma de entender como o software funciona e compreender melhor o trabalho desenvolvido durante o projeto. O vídeo explica os diferentes recursos que o programa oferece e faz um passo-a-passo de um ensaio de medição em um cabo. O vídeo tem aproximadamente 24 minutos de duração e é dividido em 7 seções, conforme mostrado na imagem abaixo:



Sections :	
00:53	Configuration Caméra/Port Ethernet
02:39	Présentation du logiciel
04:30	Étape de calibrage
07:07	Un exemple d'essai
12:45	Génération de rapports
15:15	Configurations d'essai
18:55	Remarques

Figura 16 - Extrato do vídeo tutorial

Para acessar o vídeo tutorial, basta clicar no seguinte link:

« <https://drive.google.com/file/d/1F6Gb9xVdb8hhEQ24c8Y91F8TKOdKd4DC/view> »

Como explicado anteriormente, esse documento trata-se apenas de um resumo estendido do trabalho original realizado em Francês. Para acessar o arquivo original, basta clicar no seguinte link:

« <https://drive.google.com/file/d/1e5D3IA56DqCvMwzZvd8EnjwevASl42Ke/view> »

## 5. Bibliografia

**Normas técnicas francesas de medições dimensionais:** *NF C33-210, NF C33-226, NF EN 60811-100, NF EN 60811-201, NF EN 60811-201\_A1, NF EN 60811-202, NF EN 60811-202\_A1, NF EN 60811-203 et ST 33-S-210.*

**Documentos Internos EDF:** *P202 et P204.*

**Site <<https://forums.ni.com>>:** Utilizado em vários momentos para compreensão das funções do VISION Assistant e solucionar dúvidas em programação LabVIEW.

**Site <<https://lavag.org/>> - LabVIEW Advanced Virtual Architects:** Utilizado em diversas ocasiões para encontrar os melhores métodos de processamento de imagem e para dúvidas em geral em LabVIEW.

**Site <<https://www.flir.com/support-center/iis/machine-vision/application-note/selecting-a-lens-for-your-camera/>> e <<https://www.fujifilm.eu/eu/products/optical-devices/cctv-and-machine-vision/fixed-focal-length-lenses>>:** Para informações referentes a escolha da lente mais adaptada ao projeto.