

ECOLE CENTRALE MARSEILLE

FELIPE PEGORARO CHENET

**ACOPLAMENTO DE MERCADOS DE ENERGIA ELÉTRICA  
EM *FLOW-BASED*: DESENVOLVIMENTO E INSERÇÃO DE  
FERRAMENTA PARA OPERAÇÃO DO SISTEMA DE  
TRANSMISSÃO**

Marseille  
2016

FELIPE PEGORARO CHENET

**ACOPLAMENTO DE MERCADOS DE ENERGIA ELÉTRICA  
EM *FLOW-BASED*: DESENVOLVIMENTO E INSERÇÃO DE  
FERRAMENTA PARA OPERAÇÃO DO SISTEMA DE  
TRANSMISSÃO**

Projeto desenvolvido durante período de estudos na Ecole Centrale Marseille e apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Salah Bourenane  
COORIENTADORES: Gwenaëlle Lemarchand  
Olivier Vu Dac

Marseille  
2016

FELIPE PEGORARO CHENET

**ACOPLAMENTO DE MERCADOS DE ENERGIA ELÉTRICA  
EM *FLOW-BASED*: DESENVOLVIMENTO E INSERÇÃO DE  
FERRAMENTA PARA OPERAÇÃO DO SISTEMA DE  
TRANSMISSÃO**

Este Projeto foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

## AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos se endereçam inicialmente a Gwenaëlle Lemarchand, chefe da equipe PRISE, por ter proposto o desenvolvimento desse tema trabalhando ao lado do seu time, pelos esforços que ela fez para que eu pudesse ser bem acolhido na empresa RTE e por seus cuidados em assegurar o bom andamento do projeto. Gostaria de agradecer, igualmente, Olivier Vu Dac, coorientador, pelo suporte à realização do projeto, pelos conhecimentos que ele soube me transmitir com paciência e excelente didática e pelo exemplo de profissionalismo que ele representa.

Agradeço enormemente aos colegas de equipe PRISE, Gwec'hen Even et Lièce Issaadi (foi com prazer que pude partilhar o escritório com vocês e absorver suas experiências), Jean Fernandez, Jérôme Debray, Nicolas Clement, Gaëtan Guillaneau, Samir Zebbouche e Sophie-Anaïs Paul pela acolhida extraordinária e pelos bons momentos partilhados com vocês. Sem o companheirismo de vocês eu não teria encontrado condições tão favoráveis para o bom andamento do projeto.

Gostaria de agradecer a todos os operadores do CNES que partilharam sua experiência e dedicaram sua motivação ao desenvolvimento de VOLVICC, especialmente Vincent Streicher e Thomas Grawitz. Um grande obrigado a todos os demais colegas de RTE pelos momentos agradáveis passados no CNES (ou no Tighza).

Finalmente, meus agradecimentos se estendem à minha família e aos amigos que me apoiaram durante esse período de estudos na França e, especialmente, durante esses seis meses de estágio.

## RESUMO

A RTE, operadora nacional do sistema de transmissão de energia elétrica francês, possui papel fundamental no desenvolvimento do mercado energético europeu. Nesse contexto, objetivando a formação de uma zona única para negociações de eletricidade no continente, sete iniciativas locais foram desenvolvidas em conjunto com operadores nacionais de outros países, consolidando zonas de acoplamento de mercado. Em 2015, o início da operação através da metodologia de cálculo de capacidades *Flow-Based* na região CWE marcou o surgimento do software VOLVICC, uma ferramenta de visualização de resultados de cálculo de capacidade e de dados de mercado em horizontes que variam da antevéspera ao tempo-real. O surgimento de novos projetos em outras regiões, como o cálculo de capacidade D-2 na região CSE e a linha HVDC entre França e Espanha, criou a demanda por novas utilidades, as quais foram incorporadas à ferramenta.

Este documento é o relatório de um projeto de seis meses nos quais desenvolveu-se um protótipo do software VOLVICC em linguagem VBA, fez-se a inserção do mesmo na central nacional de operação do sistema de transmissão da França e elaborou-se uma lista de especificações visando a industrialização do software.

**Palavras-chave:** metodologia Flow-Based – mercado de energia elétrica – acoplamento de mercados – cálculo de capacidade de transmissão

## **ABSTRACT**

RTE, the French transmission system operator, plays a major role in building the European electricity market. Targeting a single European area for electricity exchanges, seven local initiatives were developed to form intermediate market coupling zones. The operational go live of the Flow-Based methodology for capacity calculation in CWE region gave birth to VOLVICC, a multi-term (from D-2 to real time) capacity calculation results and market data visualization tool. The arrival of new projects in other regions, such as D-2 capacity calculation in CSE and the HVDC link between France and Spain, requested new features that have been incorporated to the tool. VOLVICC became, so, a multi-border platform.

This document is a report of a six months internship whose mission was the development of a prototype of the tool in VBA language, the insertion of VOLVICC into the French national dispatching center in support to the grid operation and the elaboration of a requirements expression targeting the industrialization of the tool.

**Keywords:** Flow-Based - electricity market – market coupling – transfer capacity calculation

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração do sistema elétrico francês .....	16
Figura 2 - Evolução do número de colaboradores da RTE.....	19
Figura 3 - Repartição do faturamento da RTE .....	19
Figura 4 - Posicionamento do polo PRISE no organograma da RTE .....	22
Figura 5 - Capacidade de intercâmbios por fronteira francesa .....	24
Figura 6 - As sete iniciativas regionais para criação do mercado europeu único.....	25
Figura 7 - Formação do preço da eletricidade em função das diferentes fontes utilizadas .....	26
Figura 8 - Determinação do preço e do volume das negociações .....	27
Figura 9 - Preço em função dos congestionamentos nas linhas des de interconexão.....	28
Figura 10 - Exemplo de dois países com bolsas de energia isoladas .....	28
Figura 11 - Mercado acomplado sem a existência de congestionamentos .....	29
Figura 12 - Diagrama isorisco e a regra do N-k .....	30
Figura 13 - Conceitos de base sobre o cálculo de capacidade.....	31
Figura 14 - Cronologia das nomeações .....	32
Figura 15 - Fluxos comerciais vs Fluxos físicos .....	32
Figura 16 - Visão em fluxos bilaterais e em posições líquidas .....	33
Figura 17 - Domínio ATC-Based vs Domínio Flow-Based .....	34
Figura 18 - Limites de negociações ATC-Based e Flow-Based.....	35
Figura 19 - O princípio do cálculo de capacidades em Flow-Based .....	37
Figura 20 - Obtenção do domínio de segurança .....	38
Figura 21 - Domínio Flow-Based final.....	38
Figura 22 - Processo Flow-Based do D-2 ao ID.....	39
Figura 23 - Escolha da data para visualização na versão inicial do software VOLVICC .....	41
Figura 24 - Interface principal do software VOLVICC em "modo servidor" .....	46
Figura 25 - Interface da funcionalidade "Manobras CWE" .....	47
Figura 26 - Interface da funcionalidade "Resultados CSE" .....	48
Figura 27 - Interface do módulo CAUSY com os fluxos físicos em flechas verdes.....	49
Figura 28 - Fluxos físicos em N sobre a linha Argia-Arkale 250kV.....	50
Figura 29 - Desequilíbrio dos fluxos leste/oeste .....	51
Figura 30 - Corrente em N-2 sobre a linha Biescas-Pragnères.....	51
Figura 31 - Interface da funcionalidade "CWE Map" .....	52

Figura 32 - Funcionalidade de visualização 3D dos domínios FB WE.....	53
Figura 33 - Funcionalidade CAUSY projetada no painel sinóptico do centro de operação.....	56



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ATC – Available Transfer Capacity  
CCO – Chargé de Conduite  
CGM – Common Grid Model  
CORESO – Coordination of Electricity System Operators  
CRE – Commission de Régulation de l’Energie  
CSE – Central South Europe  
CWE – Central West Europe  
D2CF – 2 Days Ahead Congestion Forecast  
DACF – Day Ahead Congestion Forecast  
EDF – Electricité de France  
EOD – Equilibre Offre/Demande  
ERCT – Etudes Réseau Court Terme  
FRM – Flow Remaining Margin  
GRT – Gestionnaire du réseau de transport d’électricité  
GSK – Generation Shift Key  
HT – Haute Tension  
HVDC – High-Voltage Direct Current  
IDCF – Intraday Congestion Forecast  
IFE – Ireland, France, England  
NP – Net Position  
NTC – Net Transfer Capacity  
PRISE – Pôle Réseau et Insertion des Stratégies d’Exploitation  
PTDF – Power Transfer Distribution Factors  
RTE – Réseau de Transport d’Electricité  
SSEIP – Service Stratégies d’Exploitation et Insertion de Projets  
SWE – South West Europe  
THT – Très Haute Tension  
VBA – Visual Basic for Applications

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	APRESENTAÇÃO DO PROJETO.....	14
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	14
<b>2</b>	<b>APRESENTAÇÃO DA RTE .....</b>	<b>16</b>
2.1	A ORIGEM DA RTE .....	17
2.2	A TRANSMISSÃO DE ENERGIA NA FRANÇA: UM MONOPÓLIO NATURAL DETIDO PELA RTE.....	17
2.3	A MISSÃO DA RTE E SUAS OBRIGAÇÕES.....	17
2.4	O SISTEMA GERIDO PELA RTE.....	18
2.5	NÚMEROS SOBRE A PERFORMANCE DA RTE .....	18
2.6	A OPERAÇÃO DO SISTEMA COMO MISSÃO DA RTE .....	19
2.7	O CNES .....	20
2.8	O SERVIÇO SSEIP E A EQUIPE <i>PRISE</i> .....	21
<b>3</b>	<b>CONTEXTO E DESCRIÇÃO DO PROJETO.....</b>	<b>23</b>
3.1	O MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA DE GRANDES <i>PLAYERS</i> .....	23
3.2	AS INTERCONEXÕES E O MERCADO EUROPEU .....	24
3.3	A FORMAÇÃO DO PREÇO DA ENERGIA ELÉTRICA .....	26
3.4	O CONCEITO DE ACOPLAMENTO DE MERCADOS DE ENERGIA ELÉTRICA 27	
3.5	O ACOPLAMENTO DE MERCADOS: NOÇÕES SOBRE O CÁLCULO DE CAPACIDADE .....	29
3.5.1	A regra do N-k.....	29
3.5.2	Definições básicas do cálculo de capacidade .....	30
3.5.3	Princípios do cálculo de capacidade.....	31
3.6	O ACOPLAMENTO DE MERCADO PELO MÉTODO DE CÁLCULO DE CAPACIDADE “ <i>FLOW-BASED</i> ” NA REGIÃO CWE.....	33
3.6.1	Transição do método ATC-based para o Flow-Based.....	34
3.6.2	Princípios do cálculo de capacidade Flow-Based.....	35
3.6.3	Descrição da problemática do projeto: o software VOLVICC.....	39
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS ATINGIDOS .....</b>	<b>41</b>
4.1	A FERRAMENTA VOLVICC AO INÍCIO DO PROJETO .....	41

4.1.1	Características técnicas.....	41
4.1.2	Estado de inserção da ferramenta .....	43
4.2	PRIMEIRA ETAPA: ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA.....	43
4.3	SEGUNDA ETAPA: DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA EM VBA PARA EXCEL .....	45
4.3.1	Criação do “Modo de execução servidor” .....	45
4.3.2	Criação da funcionalidade “Manobras CWE” .....	46
4.3.3	Criação da funcionalidade “Resultados CSE” .....	47
4.3.4	Desenvolvimento da visualização de fluxos físicos de potência através das fronteiras 48	
4.3.5	Desenvolvimento de indicadores para a fronteira França-Espanha.....	49
4.3.6	Integração das nomeações ID à funcionalidade “CWE Map” .....	52
4.3.7	Integração do ponto de acoplamento ID e de ponto de simulação à funcionalidade de visualização dos domínios 3D CWE .....	53
4.4	TERCEIRA ETAPA: ACOMPANHAMENTO E INSERÇÃO DA FERRAMENTA	54
4.4.1	Redação do manual do utilizador .....	54
4.4.2	Formação dos operadores para utilização da ferramenta.....	54
4.4.3	Instalação de um posto fixo dedicado ao software na sala de operação nacional .....	55
4.4.4	Acompanhamento e debugagem da versão 3.0 de VOLVICC .....	56
4.5	BALANÇO DOS RESULTADOS APORTADOS PELO PROJETO À EMPRESA .	56
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>59</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

Este documento versa sobre o estágio que se desenvolveu durante seis meses no setor “Sistema e inserção de estratégias de operação” da empresa RTE (*Réseau de Transport d’Electricité*), ao término do programa de dupla-diplomação em Engenharia Generalista na Ecole Centrale Marseille. O trabalho ocorreu no Centro Nacional de Operação do Sistema (CNES, *Centre National d’Exploitation du Système*), situado em Saint-Denis, na região metropolitana de Paris.

A missão atribuída ao estagiário consistiu no desenvolvimento de um protótipo, na implementação da estratégia de inserção na rotina de operação e na elaboração das especificações para industrialização do software VOLVICC. Essa ferramenta, criada a partir do início do processo de cálculo de capacidade de transmissão de energia elétrica pelo método *Flow-Based* entre países da região CWE (*Central West Europe*), tornou-se uma plataforma multi-fronteiras e multi-prazos para visualização de resultados dos processos de cálculo de capacidade e de dados de mercado de eletricidade. O software VOLVICC passou a contribuir de maneira efetiva à operação do sistema de transmissão no contexto da gestão de riscos à segurança do mesmo.

O projeto se dividiu em três partes:

- 1) Redação, à partir de consulta junto aos engenheiros do centro nacional de operação, de um documento de especificações da ferramenta, dirigido à direção da RTE, visando a decisão pelo investimento na industrialização da aplicação.
- 2) Desenvolvimento de evoluções das funcionalidades existentes, assim como de novas utilidades, no protótipo da ferramenta, em linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Applications*).
- 3) Acompanhamento da utilização do software e inserção operacional no centro nacional de operação do sistema.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

A primeira parte do documento é consagrada à empresa RTE, sua história e seu ramo de atuação. A segunda parte versa a respeito de bases teóricas sobre acoplamento de mercados

de energia elétrica na Europa e sobre o cálculo de capacidade de transferência de eletricidade entre países. A terceira parte trata de cada uma das etapas do projeto, das metodologias utilizadas e dos resultados obtidos.

## 2 APRESENTAÇÃO DA RTE

A RTE é uma empresa pública francesa que gere o sistema de transmissão de energia elétrica na França metropolitana. Ela opera, faz a manutenção e a expansão das linhas de transmissão de alta tensão e extra-alta tensão e das estações associadas, que transmitem a energia desde as usinas de produção até as redes de distribuição e os clientes industriais ligados diretamente ao sistema de transmissão.

Um sistema elétrico é composto de quatro grandes partes: produção, transmissão e interconexões, distribuição e consumo (Figura 1). Situada no centro desse sistema, a RTE é responsável por assegurar o equilíbrio entre a oferta e o consumo de energia elétrica na França. Por este motivo, ela desempenha papel fundamental na estruturação do mercado de energia elétrica.



**Figura 1 - Ilustração do sistema elétrico francês**

**Fonte:** edição livre livre à partir de [www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/rte](http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/rte)

A RTE é uma filial pertencente inteiramente ao grupo EDF (Electricité de France). As suas origens remontam ao início dos anos 2000, com a aplicação da lei de abertura do mercado de energia elétrica na França.

## 2.1 A ORIGEM DA RTE

A RTE foi fundada no dia 1 de julho de 2000, após a criação do mercado europeu de eletricidade, que impôs à EDF as separações das funções de produção e transmissão. Nesse momento, a RTE tornou-se um serviço da EDF, com gestão, contabilidade e administração separadas das outras atividades do grupo. Este foi o primeiro passo da abertura do mercado de energia a novos produtores, na França, em detrimento ao monopólio detido anteriormente pela EDF.

Em seguida, em 2004, uma lei impôs à RTE a separação jurídica da EDF. Ela conduziu a RTE a tornar-se, no dia 1 de setembro de 2005, uma sociedade anônima de capital público, filial da EDF. A sua razão social tornou-se *EDF Transport*. Em 2012, em aplicação das disposições do código de energia da Comissão Europeia e da Comissão de Regulação de Energia (CRE, *Commission de Régulation de l'Énergie*), sua razão social tornou-se *RTE Réseau de Transport d'Électricité*.

## 2.2 A TRANSMISSÃO DE ENERGIA NA FRANÇA: UM MONOPÓLIO NATURAL DETIDO PELA RTE

O sistema de transmissão de energia elétrica nacional constituiu um monopólio natural no qual não pode haver concorrência devido aos investimentos necessários, que são muito elevados, e a questões de segurança de fornecimento. É por esse motivo que a RTE é uma empresa pública regulada cuja independência é garantida por lei.

A obrigação de independência da RTE frente ao resto do grupo EDF garante a neutralidade da RTE perante todos os produtores de energia elétrica. Ela passa por um código de boa conduta, cuja obediência é verificada anualmente pela CRE.

## 2.3 A MISSÃO DA RTE E SUAS OBRIGAÇÕES

A missão da RTE enquanto gestonária do sistema de transmissão de energia elétrica na França é baseada sobre três eixos:

- I. Otimizar o funcionamento do sistema elétrico francês:
  - Garantir a todo instante o equilíbrio entre produção e consumo de energia elétrica sobre o território francês;

- Garantir a segurança de operação do sistema, ou seja, evitar *black-outs* localizados ou generalizados.
- II. Garantir a segurança de fornecimento de seus clientes, com acesso a energia elétrica econômica, segura e limpa:
- Garantir uma boa qualidade de energia elétrica em termos de tensão, frequência e continuidade de serviço.
- III. Adaptar o sistema e suas ferramentas para acelerar a transição energética, inovando continuamente:
- Otimizar a utilização do sistema elétrico existente com novos métodos e tecnologias;
  - Desenvolver e tornar mais seguro o sistema acompanhando o aumento da demanda e levando em consideração seu impacto ambiental;
  - Contribuir à criação do mercado de energia elétrica nacional e europeu.

## **2.4 O SISTEMA GERIDO PELA RTE**

O sistema francês gerido pela RTE conta com aproximadamente 105 000 km de linhas contendo dois sub-conjuntos:

- 46% de linhas de extra-alta tensão (400 kV e 225 kV) para a transmissão a grandes distâncias e interconexões com países vizinhos;
- 54% de linhas de alta tensão (150 kV, 90kV e 63 kV) para a repartição regional. Esse sistema promove a repartição até os sistemas de distribuição a média tensão (20 kV) geridos pelos distribuidores e até os grandes clientes industriais.

Desse total, 48 linhas correspondem às interconexões com países vizinhos, o que permite a otimização econômica do sistema elétrico e a segurança de fornecimento de eletricidade da França e desses países fronteiriços.

## **2.5 NÚMEROS SOBRE A PERFORMANCE DA RTE**

Os clientes da RTE são: 54 produtores, 32 distribuidores, 258 plantas industriais, 11 empresas ferroviárias e 135 negociadores e fornecedores de serviços, contabilizando um total de 490 clientes (dados de 2014).



A CRE acordou um nível de investimentos de 1,4 bilhões de euros por ano para fazer a manutenção e adaptar o sistema de transmissão da RTE para o período entre 2013 e 2016.

Em 2014, 540,6 TWh de energia elétrica foram injetados no sistema de transmissão francês e, posteriormente, transportados pela RTE.

Em 2014, a duração dos cortes de alimentação devidos ao sistema de transmissão da RTE foi de 2min46s, um dos melhores resultados entre os operadores nacionais europeus.

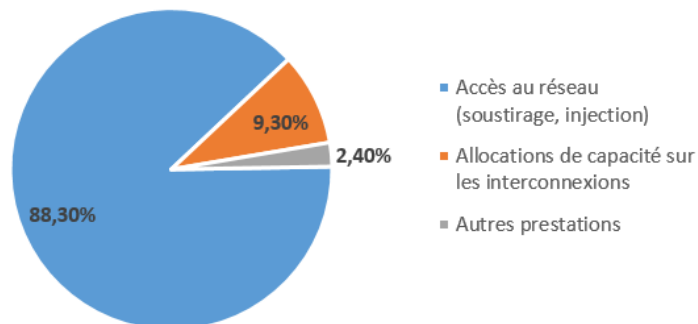
O efetivo total da RTE em 2014 era de 8.987 colaboradores, em crescimento desde 2012.

	2012	2013	2014
<b>Effectif total (y compris CDD)</b>	<b>8 843</b>	<b>8 910</b>	<b>8 987</b>
Femmes (en nombre)	1 831	1 863	<b>1 891</b>
Hommes (en nombre)	7 012	7 047	<b>7 096</b>

**Figura 2 - Evolução do número de colaboradores da RTE**

Fonte: adaptado de relatório de atividades 2014 da RTE

O faturamento da RTE em 2014 foi de 4,461 bilhões de euros, repartidos segundo a figura abaixo. O resultado líquido da empresa no mesmo período foi de 973 milhões de euros.



**Figura 3 - Repartição do faturamento da RTE**

Fonte: criação do autor à partir de dados do relatório de atividades 2014 da RTE

## 2.6 A OPERAÇÃO DO SISTEMA COMO MISSÃO DA RTE

O sistema elétrico francês é operado pelo CNES e outros sete centros de operação regionais.

Situado em Saint-Denis, região metropolitana de Paris, o CNES é responsável pelo equilíbrio entre oferta e demanda de energia elétrica, pelo controle da tensão dos barramentos e do fluxo de potência no sistema de 400kV e pela gestão dos interâmbios energéticos entre a França e os países vizinhos através das linhas de interconexão.

As diferentes regiões, através dos centros de operação regionais, têm a responsabilidade do monitoramento da rede de 400 kV em apoio ao CNES, do controle da tensão dos barramentos e do fluxo de potência das redes inferiores à 400 kV (63 kV a 225 kV) e do telecomando dos postos de alta tensão.

Além do CNES e dos centros regionais, a RTE contribuiu para criar, em conjunto com seus homólogos ELIA (Bélgica), 50 Hz (Alemanha), National Grid (Inglaterra) e TERNA (Itália), um centro de coordenação situado em Bruxelas, chamando CORESO (*Coordination of Electricity System Operators*). Isso permite reforçar a segurança elétrica na região centro-oeste da Europa.

## 2.7 O CNES

O CNES, situado em Saint-Denis, região metropolitana de Paris, conta com 180 funcionários, majoritariamente engenheiros, agrupados em quatro serviços diferentes ligados à Direção de Operação da empresa:

- Serviço Estudos de Curto-Prazo e Operação (SECTC): responsável pelos estudos de curto-prazo e operação (do D-2 ao tempo-real), pela documentação operacional e pelo diagnóstico de incidentes e retomada de serviço.
- Serviço Performance (SPERF): agrupa as atividades ligadas ao retorno sobre a experiência, à formação a todos os funcionários cuja atividade dependa das noções de operação, à manutenção operacional dos dispositivos de crise e do tratamento técnico da qualidade da energia elétrica.
- Serviço Planejamento (SPPLA): agrupa as atividades ligadas ao planejamento das intervenções sobre as redes de transmissão e telecomunicações e sobre as ferramentas e bases de dados que têm impacto sobre a operação, de horizontes que vão desde o plurianual até o diário, realizando estudos coordenados de curto-prazo e preparação da operação.
- Serviço Estratégia e Inserção de Projetos (SSEIP): responsável por atividades ligadas aos projetos necessários para preparar a operação do sistema a horizontes que variam de 3 a 5 anos. Isso engloba estudos sazonais (passagem do inverno, de carga pesada, e do verão, de carga leve) e os planos de ação para situações de alta demanda, estudos previsionais coordenados, estudos ligados à reconstituição do sistema, aos automatismos necessários para uma operação

segura e que ofereça o melhor nível de qualidade possível, à produção e controle de dados cuja qualidade é essencial à pertinência dos estudos a diferentes horizontes e à performance da operação, e estudos necessários à preparação da inserção de evoluções futuras do sistema de transmissão.

No CNES se situa a sala de controle do despacho nacional do sistema de transmissão francês, onde os operadores preparam e conduzem a operação das redes de alta e extra-alta tensão em horizontes que variam do longo ao curto-prazo.

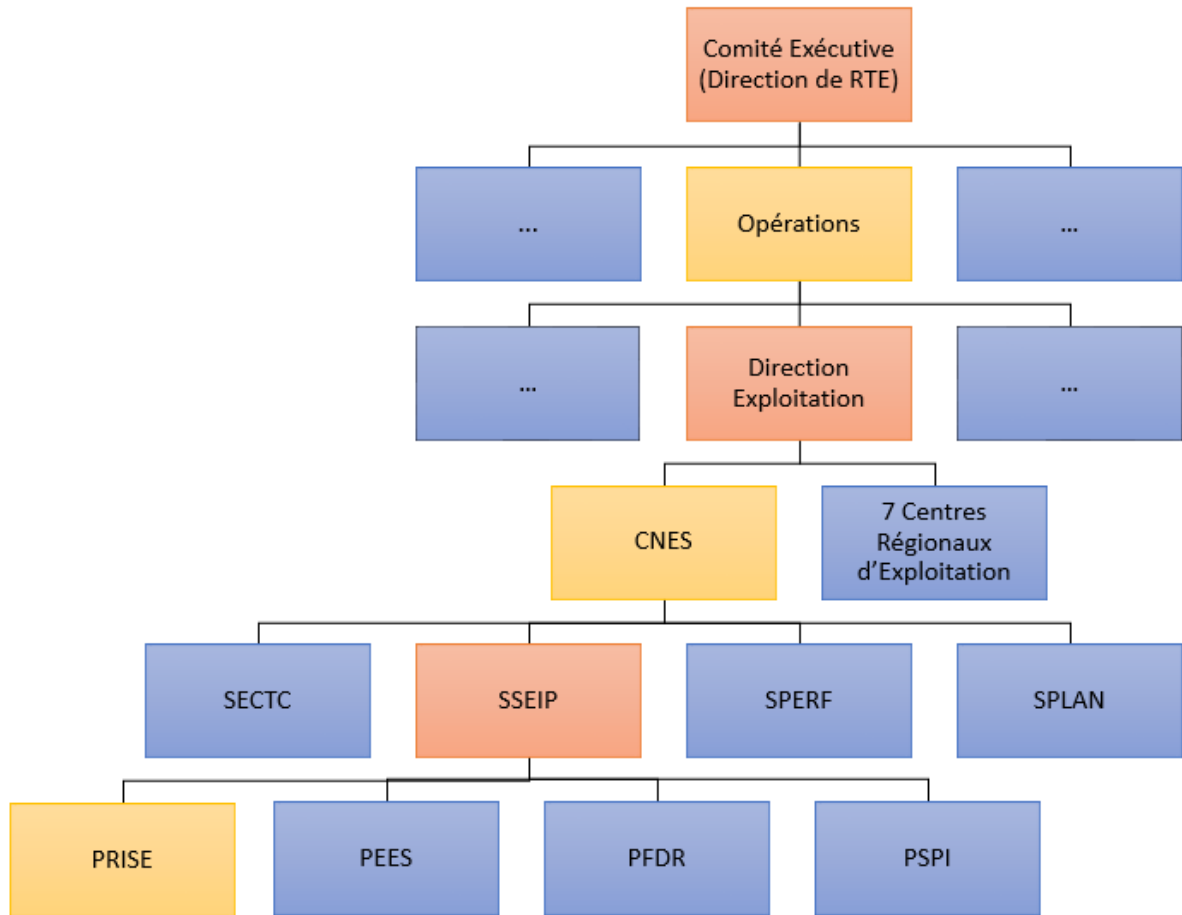
## **2.8 O SERVIÇO SSEIP E A EQUIPE *PRISE***

O Serviço Estratégia de Operação e Inserção de Projetos, descrito no item anterior, agrupa quatro equipes:

- Polo Economia e Equilíbrio do Sistema (PEE)
- Polo Funcionamento Dinâmico do Sistema (PFDS)
- Polo Acompanhamento de Projetos e Inserção (SPI)
- Polo Sistema e Inserção de Estratégias e Operação (*PRISE*)

O Polo Sistema e Inserção de Estratégias de Operação, especificamente, conta com um efetivo de seis engenheiros (dados de janeiro de 2016) e um chefe de equipe que trabalham na gestão de projetos de inserção e nas evoluções futuras do sistema de transmissão. Eles trabalham em ligação direta com os homólogos da RTE em outros países europeus para estabelecer uma cooperação para a operação do sistema de transmissão francês interconectado.

A figura abaixo ilustra o posicionamento do polo *PRISE*, onde este projeto foi desenvolvido, no organograma da RTE.



**Figura 4 - Posicionamento do polo PRISE no organograma da RTE**

Fonte: criação do autor

### 3 CONTEXTO E DESCRIÇÃO DO PROJETO

#### 3.1 O MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA DE GRANDES *PLAYERS*

O mercado de energia elétrica francês é dividido em duas partes: mercado de detalhe, que visa atender pequenos clientes industriais e residenciais, e mercado de grandes atores. No segundo, a energia elétrica é negociada antes de ser entregue através do sistema de distribuição aos clientes finais.

Os atores que interajem no mercado de grandes são os seguintes:

- Os produtores de energia elétrica, que negociam e vendem o seu produto;
- Os distribuidores, que negociam e se abastecem em reservas de energia para, posteriormente, vender aos clientes finais;
- Os negociadores, que compram para revender (ou inversamente) e favorecem assim a liquidez do mercado;
- Os operadores de delestagem, que valorizam o consumo evitado de seus clientes.

Nesse mercado, as negociações podem se fazer:

- Através de bolsas: *EPEX SPOT France*, para os produtos *spot* (entregues no mesmo dia ou um dia após a negociação), situada em Paris, e *EEX Power Derivatives*, para produtos futuros (longo prazo), situada em Leipzig, na Alemanha.
- Através de negociações intermediadas entre comprador e vendedor;
- Através de negociações diretas entre comprador e vendedor.

O resultado das negociações que se produzem é que a energia elétrica injetada no sistema francês é proveniente, em 95%, do parque de produção instalado sobre o território francês e, em 5%, das importações de origem em outros países da Europa.

O consumo é realizado em 80% pelos consumidores finais. Os 20% restantes são repartidos entre as exportações e uma parte que é perdida no momento da transmissão.

### 3.2 AS INTERCONEXÕES E O MERCADO EUROPEU

A descrição do mercado de energia elétrica de grandes atores acima ressalta a importância atribuída às linhas de interconexão, que permitem a existência de um mercado europeu integrado.

A interconexão entre sistemas de transmissão de países europeus permite uma assistência mútua entre países vizinhos em caso de falhas e uma complementaridade da demanda e dos parques de produção. Essa integração reforça a segurança de abastecimento e contribui à regulação da frequência comum no caso de sistemas síncronos. Além disso, esse mercado comum permite desenvolver a concorrência nos mercados nacionais e amenizar a variabilidade das energias renováveis (fotovoltaica e eólica, por exemplo), reduzindo o custo da sua integração.

O sistema elétrico francês é ligado através de 48 linhas de interconexão aos sistemas de outros seis países vizinhos: Grã-Bretanha, Alemanha, Suíça, Itália e Espanha. Em 2015, a capacidade de exportação francesa era de 15.000 MW e de importação era de 12.000 MW. O esquema abaixo ilustra o valor da capacidade de intercâmbios por fronteira.

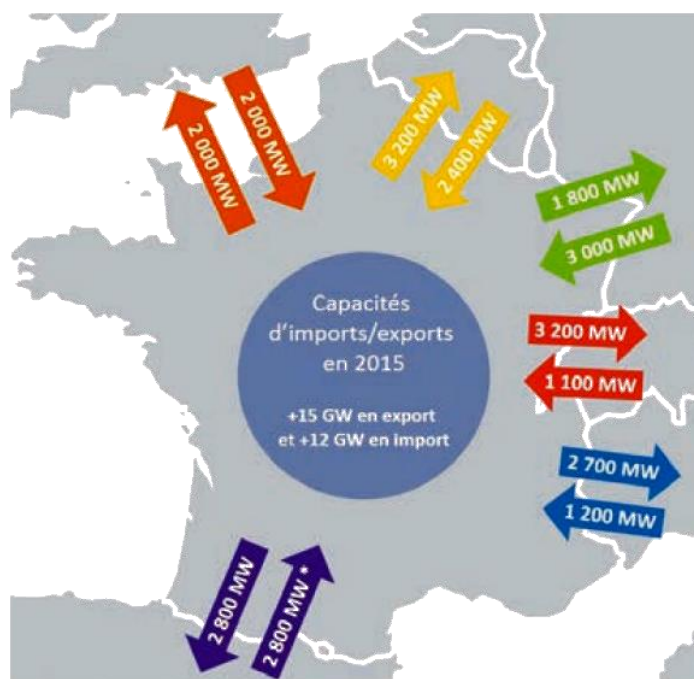


Figura 5 - Capacidade de intercâmbios por fronteira francesa

Fonte: documentação interna RTE

Os fluxos de potência que circulam nas interconexões são limitados fisicamente pelas capacidades do sistema. Essa capacidade de negociações é insuficiente, atualmente, em relação ao volume que os atores do mercado gostariam de fazer transitar: aparecem, então, os congestionamentos no sistema. Métodos de atribuição de capacidade são necessários para que os problemas de congestionamento do sistema sejam tratados por soluções não discriminatórias e baseadas no mercado.

Com objetivo de atingir futuramente um mercado europeu único, uma etapa intermediária foi criada. Trata-se do surgimento de sete iniciativas regionais para dar mais fluidez aos intercâmbios entre países. A figura 6 ilustra a criação dessas diferentes zonas. A França está envolvida em quatro delas:

- IFE (*Ireland, France, England*): Irlanda, França e Inglaterra;
- CWE (*Central West Europe*): França, Alemanha, Bélgica, Luxemburgo e Holanda;
- CSE: (*Central South Europe*): França, Áustria, Grécia, Itália, Eslovênia e Suíça;
- SWE (*South West Europe*): França, Espanha e Portugal.

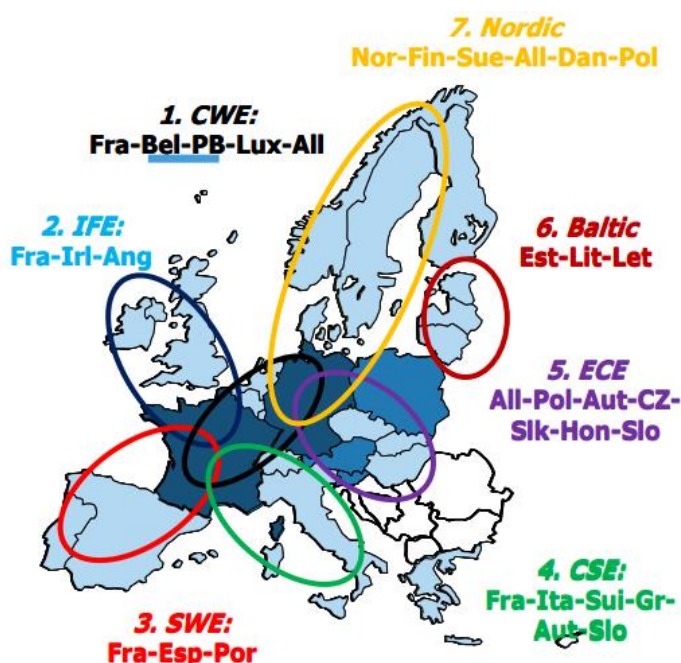


Figura 6 - As sete iniciativas regionais para criação do mercado europeu único

Fonte: documentação interna RTE

### 3.3 A FORMAÇÃO DO PREÇO DA ENERGIA ELÉTRICA

O preço da energia elétrica é formado em função do custo ligado às fontes disponíveis e utilizadas, como ilustra o esquema abaixo:

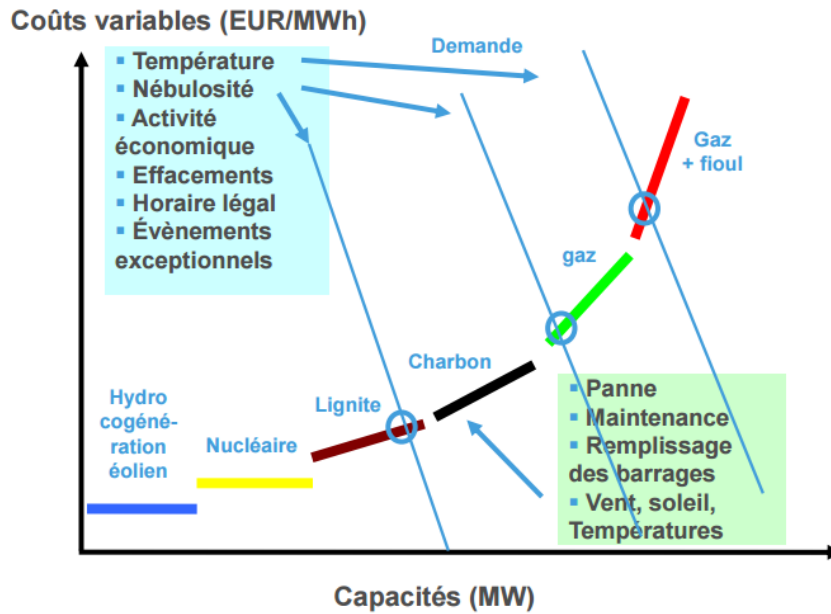
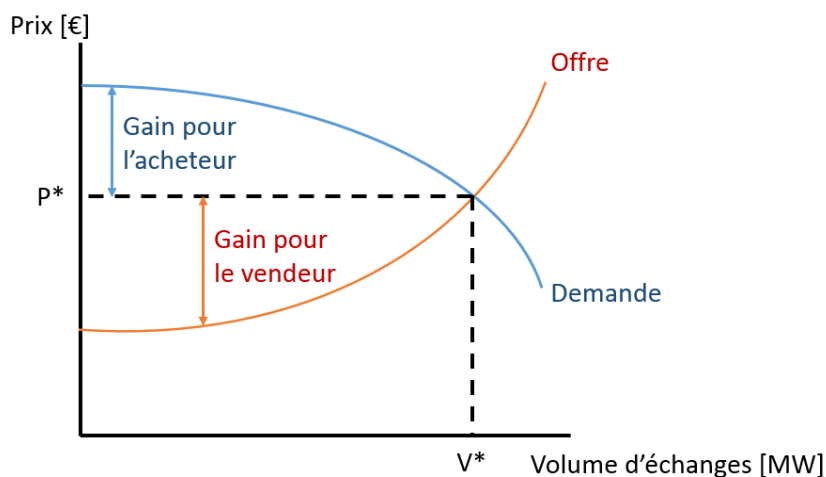


Figura 7 - Formação do preço da eletricidade em função das diferentes fontes utilizadas

Fonte: documentação interna RTE

As transações são feitas em bolsas de energia elétrica, onde os *players* do mercado de grandes negociam em função de suas oferta e demanda, ou diretamente entre eles. O preço e o volume negociados se concretizam pelo ponto de equilíbrio na interseção entre as duas curvas:





**Figura 8 - Determinação do preço e do volume das negociações**

Fonte: criação do autor

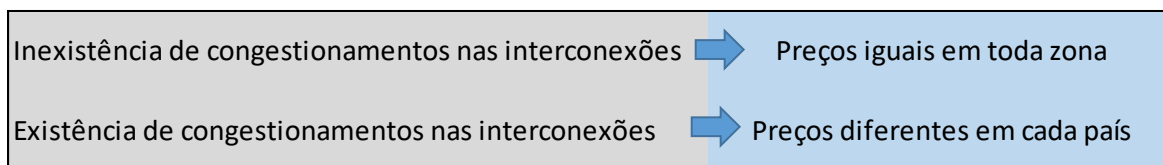
O superávit social é igual à soma dos ganhos dos compradores e vendedores e é igual à mais-valia global criada pelo mercado.

### 3.4 O CONCEITO DE ACOPLAMENTO DE MERCADOS DE ENERGIA ELÉTRICA

O acoplamento de mercados é uma ferramenta de otimização dos fluxos comerciais nas linhas de interconexão que permite, assim, uma melhor integração dos mercados nacionais. Ele implica, simultaneamente:

- as bolsas de energia elétrica;
- e os gestores do sistema de transmissão (RTE, por exemplo).

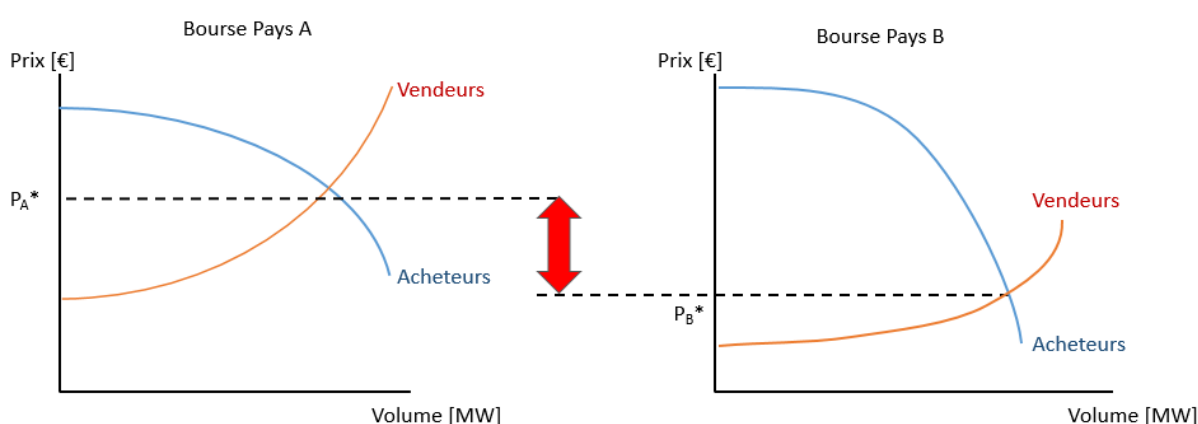
Este método visa uma melhor utilização das capacidades de intercâmbio energético disponíveis e uma maior harmonização de preços entre as regiões. O acoplamento pelo preço entre os diferentes países cria uma zona de negociação única quando as interconexões não estão saturadas e não limitam, então, os fluxos de potência através das fronteiras.



**Figura 9 - Preço em função dos congestionamentos nas linhas des de interconexão.**

Fonte: criação do autor

A título exemplificativo, consideremos dois países com duas bolsas de energia isoladas A e B, ilustrados abaixo:



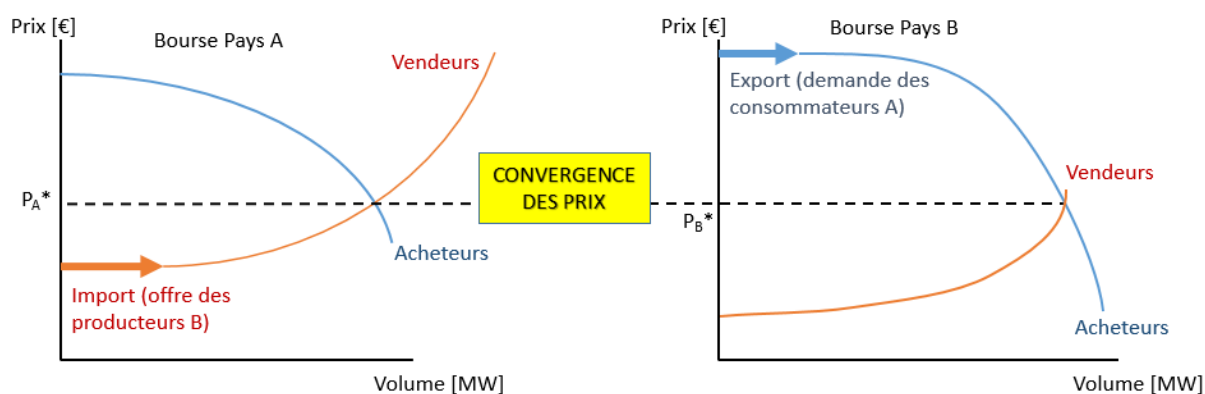
**Figura 10 - Exemplo de dois países com bolsas de energia isoladas**

Fonte: criação do autor

Se as negociações entre os dois países for permitida, acontecerão dois movimentos:

- os compradores do País A poderão acessar os produtores do país B, onde o preço é menor;
- os vendedores do país B poderão vender aos compradores do país A, onde o preço é maior.

Nesse contexto, será estabelecido um fluxo comercial de energia do país B para o país A. No caso de não existência de congestionamentos que limitem as negociações (saturação das linhas que perpassam as fronteiras), ocorrerá uma convergência dos preços nessa região, como ilustrado abaixo:



**Figura 11 - Mercado acomplado sem a existência de congestionamentos**

Fonte: criação do autor

O deslocamento das curvas de oferta e demanda corresponde ao volume das transações de energia entre os países.

O interesse no acomplamento de mercados é permitir a maximização do superávit social global da região em questão.

### 3.5 O ACOPLAMENTO DE MERCADOS: NOÇÕES SOBRE O CÁLCULO DE CAPACIDADE

Nessa parte serão apresentadas as noções técnicas necessárias para a compreensão de um método de cálculo de capacidade.

#### 3.5.1 A regra do N-k

Um sistema completo, com todos seus elementos disponíveis (linhas, jogos de barras, transformadores e grupos de produção) é dito um sistema em N. Após a perda de um elemento (perda de uma linha, de um transformador, de um grupo ou jogo de barras), o sistema é dito estar em N-1, e assim posteriormente até a perda de k elementos, quando o mesmo será dito um sistema em N-k.

Para garantir a segurança de um sistema de transmissão de energia elétrica, os operadores devem monitorar a todo instante os possíveis incidentes e estudar medidas para impedir os eventos de consequências mais graves (colapsos de tensão, perda de sincronismo ou cascadeamento de sobrecargas) que podem conduzir a um *black-out* generalizado ou localizado.

Essas medidas podem ser preventivas (se implementadas com o sistema completo) ou corretivas (se implementadas após um N-k).

A operação do sistema leva em consideração, então, uma análise de riscos de certos elementos monitorados e possíveis incidentes. A decisão sobre quais eventos e quais elementos devem ser vigiados é tomada de acordo com a Regra do N-k. A imagem abaixo apresenta o diagrama isorisco, as diferentes zonas de risco e as decisões tomadas em função da zona.

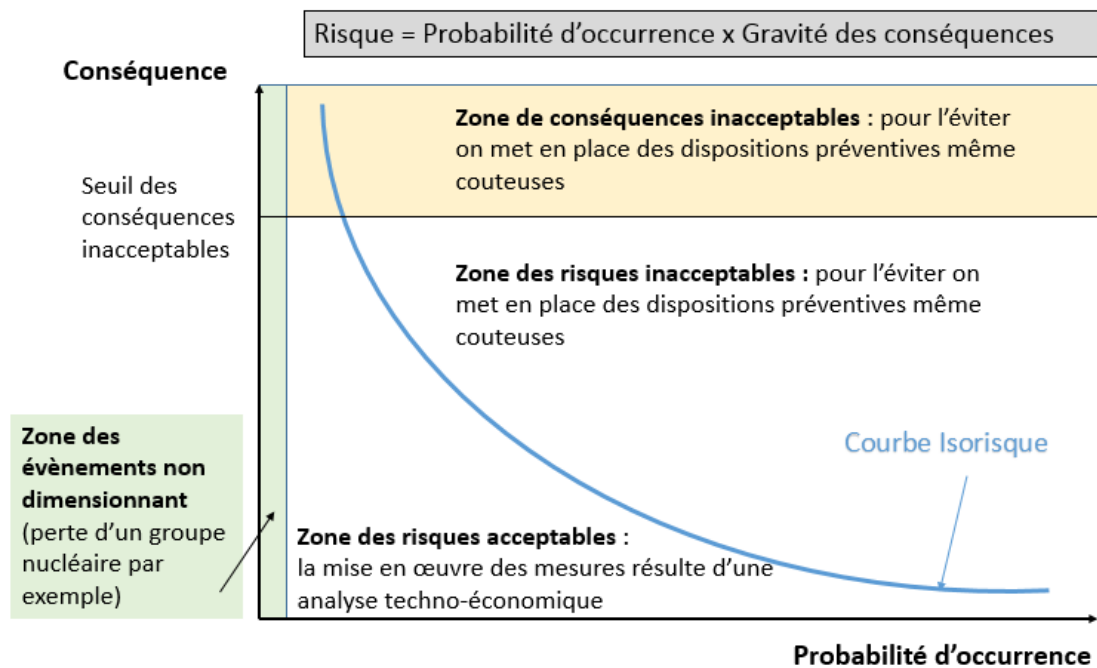


Figura 12 - Diagrama isorisco e a regra do N-k

Fonte: adaptado de documentação interna RTE

### 3.5.2 Definições básicas do cálculo de capacidade

A respeito do cálculo de capacidade de transações de energia através de fronteiras, é necessário distinguir os três conceitos que seguem:

- NTC (*Net Transfer Capacity*): capacidade total de fluxos comerciais antes do primeiro MW (*megawatt*) de congestionamento, calculado pelos operadores nacionais afetados pelo intercâmbio;
- Nomações: quantidade de fluxos comerciais efetivamente negociados pelo mercado (exportações ou importações) através das bolsas de energia elétrica;
- ATC (*Available Transfer Capacity*): capacidade de fluxos comerciais restantes após as nomações, disponíveis para futuras negociações.

Estes conceitos estão ligados pela relação:

$$NTC = \text{Nominações} + ATC$$

A figura abaixo ilustra visualmente o que acaba de ser exposto:

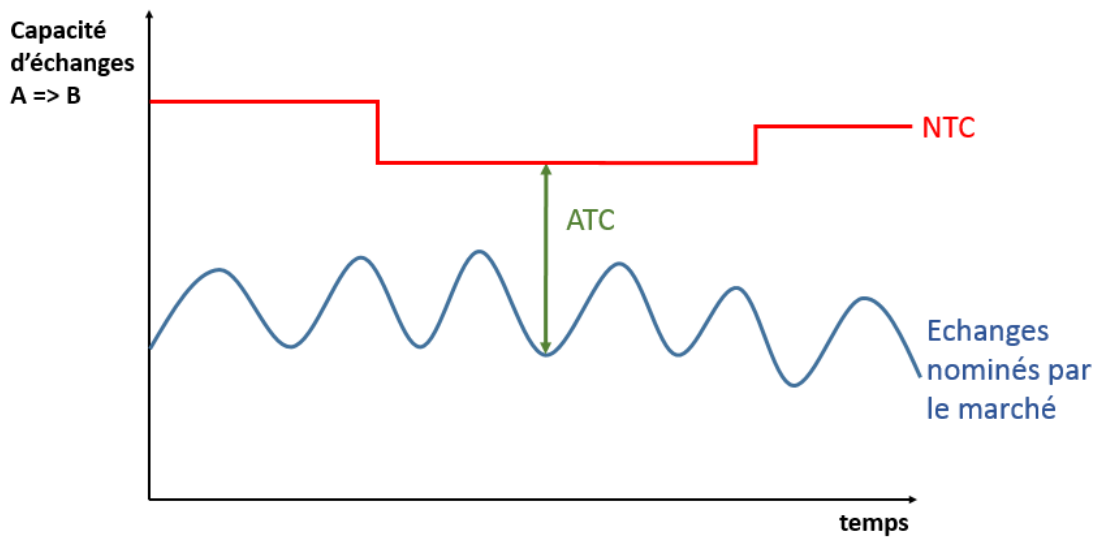


Figura 13 - Conceitos de base sobre o cálculo de capacidade

Fonte: criação do autor

### 3.5.3 Princípios do cálculo de capacidade

O objetivo de um cálculo de capacidade é fornecer capacidades de negociações ao mercado para permitir que os *players* negociem e nominem suas posições a diversos horizontes, mais próximos ou mais distantes do tempo real, para diversificar os produtos ofertados.

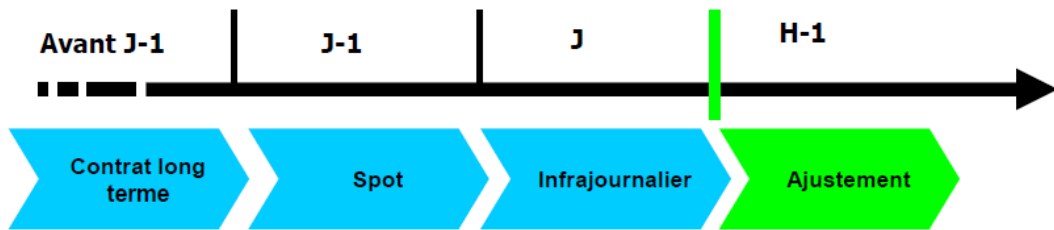


Figura 14 - Cronologia das nomeações

Fonte: RTE - Le marché français et européen d'électricité

Para o processo de cálculo de capacidade, os operadores nacionais dos sistemas de transmissão fazem previsões dos fluxos de potência que passarão o sistema. Entretanto, os fluxos físicos não tem, necessariamente, uma relação direta com os fluxos comerciais, como ilustrado na imagem abaixo:

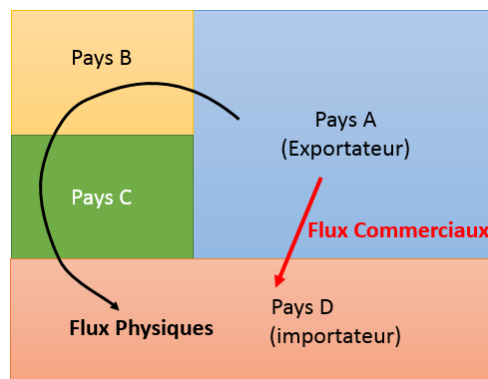


Figura 15 - Fluxos comerciais vs Fluxos físicos

Fonte: criação do autor

Após o cálculo realizado pelos operadores do sistema, um valor de capacidade é fornecido ao mercado, que poderá nominar seus volumes de negociações no interior do domínio de segurança que limita os valores de capacidade. A figura abaixo ilustra o domínio fornecido ao mercado em dois tipos de visão: fluxos comerciais bilaterais de um país para o outro ou balanço por país. O balanço é normalmente chamado de posição líquida (NP, *net position*). Esse tipo de domínio de segurança, com apenas um valor máximo em importação e exportação, é chamado de “Domínio ATC”, e não explicita o elemento que limita a capacidade numa determinada fronteira.

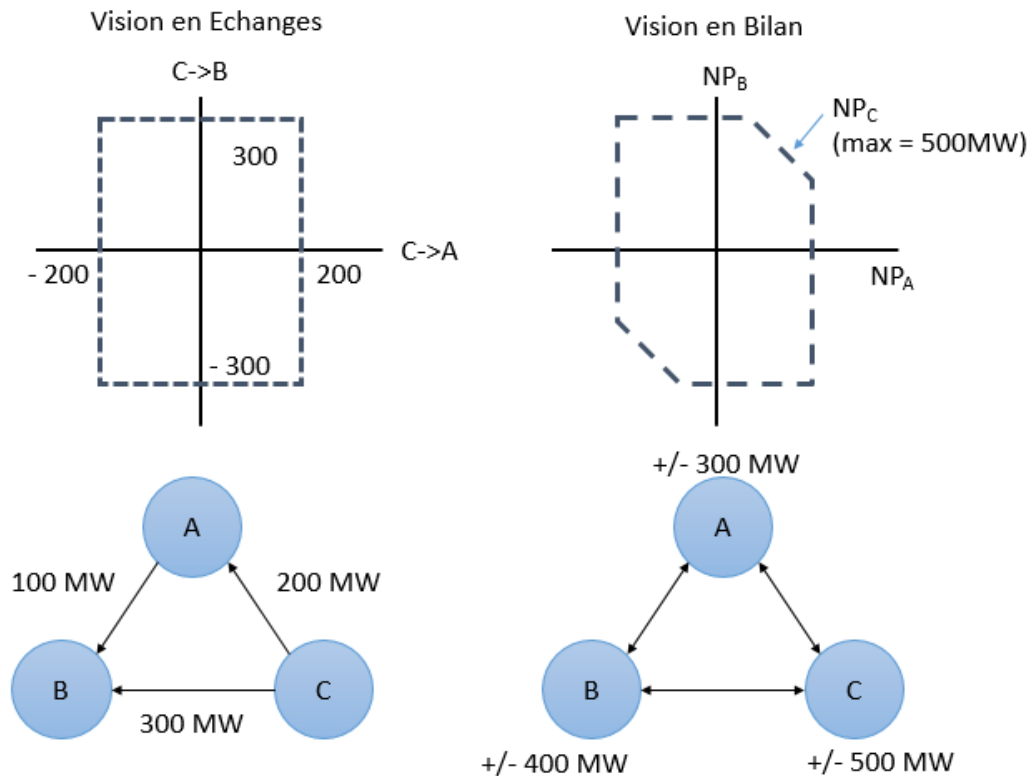


Figura 16 - Visão em fluxos bilaterais e em posições líquidas

Fonte: criação livre à partir de documentação da RTE

### 3.6 O ACOPLAMENTO DE MERCADO PELO MÉTODO DE CÁLCULO DE CAPACIDADE “*FLOW-BASED*” NA REGIÃO CWE

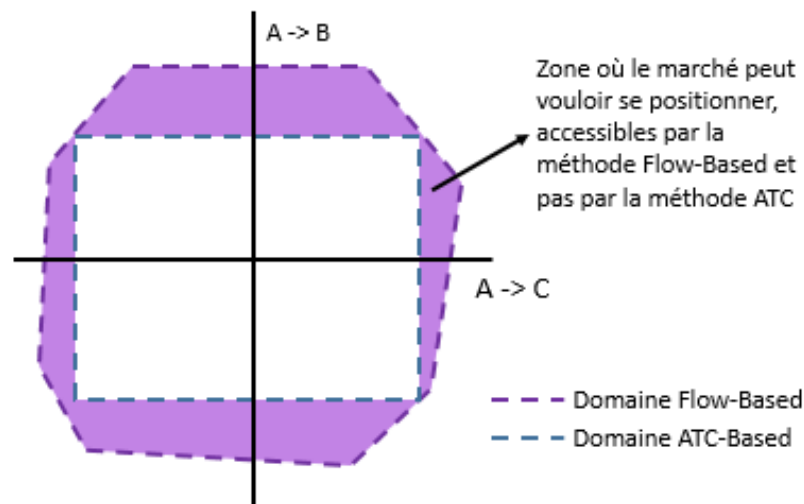
Em 2007, um *memorandum of understanding* foi assinado pelos ministros da economia, pelos reguladores do setor energético, pelas bolsas de energia elétrica e pelos operadores nacionais do sistema de transmissão dos países da zona CWE: França, Alemanha, Bélgica, e Holanda. Este *MoU* teve por objetivo implementar um mecanismo de acoplamento de mercados e assegurar o aprovisionamento de energia elétrica na região.

Após esse acordo, em 2010 ocorreu o primeiro acoplamento de mercados pelo método baseado em ATC na região – um valor único de importações/exportações máximas, em bilateral, para cada fronteira. Em paralelo, um novo projeto de acoplamento pelo método *Flow-Based*, baseado em fluxos, foi sendo desenvolvido pelas entidades envolvidas. Depois de três anos de *parallel run* (funcionamento em paralelo, redundante), em 2015 este método teve sua operação iniciada com sucesso.

### 3.6.1 Transição do método ATC-based para o Flow-Based

O método *ATC-based* atribui, para cada fronteira, bilateralmente, uma NTC. Essas NTCs são calculadas de maneira coordenada e verificadas antes de serem disponibilizadas ao mercado. Entretanto, a determinação das mesmas neste método é arbitrária, segundo diversas regras: equipartição física, equipartição comercial ou divisão empírica da capacidade restante por especialistas. Se o mercado não segue as tendências da regra aplicada, essa determinação não é a mais otimizada.

O princípio do método *Flow-Based* é de não somente fornecer ao mercado um único par de NTCs por fronteira, determinado por cada operador nacional, mas fornecer o domínio de segurança inteiro, possibilitando que o mercado se posicione, dentro desse domínio, onde ele quiser. A figura abaixo ilustra a comparação entre os métodos ATC e *Flow-Based*.



**Figura 17 - Domínio ATC-Based vs Domínio Flow-Based**

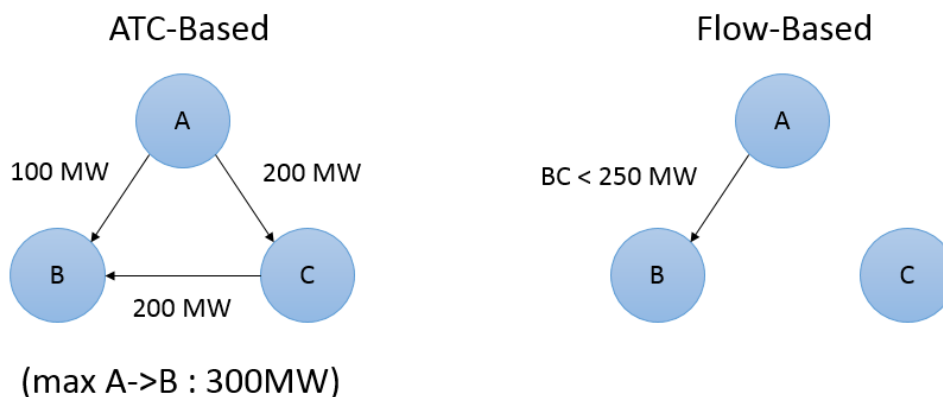
Fonte: criação do autor

Para isso, o método *Flow-Based* considera diretamente as restrições físicas que limitam as capacidades de interconexão. O benefício desse método em relação ao *ATC-Based* é ilustrado através da figura abaixo, na qual são feitas as seguintes considerações:

- Em *ATC*: os trânsitos de energia entre o país A e o país B podem ser incrementados enquanto as capacidades  $A \rightarrow B$  e  $A \rightarrow C \rightarrow B$  estiverem disponíveis;
- Em *Flow-Based*: os trânsitos de energia entre A, B e C (e então, notadamente, no sentido  $A \rightarrow B$ ) são possíveis enquanto o elemento crítico (linha,



barramento, transformador ou grupo) limitante (BC, *critical branch*) não chegar em seu limite.



**Figura 18 - Limites de negociações ATC-Based e Flow-Based**

Fonte: criação livre

### 3.6.2 Princípios do cálculo de capacidade Flow-Based

A sequência de procedimentos a seguir implementa o cálculo de capacidades em *Flow-Based* de maneira coordenada entre os operadores nacionais do sistema na região CWE:

- Todos os operadores do sistema de transmissão da zona trabalham sobre um CGM (*Common Grid Model*) elaborado em D-2 (dois dias antes), também chamado de D2CF (*2 Days Ahead Congestion Forecast*). Este é um arquivo que reúne as previsões para o sistema (parques de produção, linhas, transformadores e consumo) em D-2 para cada país da zona CWE e uma extrapolação para os países em torno da zona.
- O CGM é acompanhado do seu respectivo GSK (*Generation Shift Key*). O GSK descreve a resposta do sistema a uma alteração de potência injetada por um cada grupo produtor.
- Baseado na sua própria regra de gestão de riscos, cada operador nacional do sistema fornece uma lista de elementos críticos monitorados. Um elemento crítico é um elemento interno ou de interconexão fortemente impactado pelos fluxos através das fronteiras. Um elemento pode ser crítico após um incidente (em N-k) ou em situação de sistema completo (em N).

- De acordo com seus procedimentos internos, cada operador nacional fornece uma lista de medidas preventivas ou curativas que se dispõe a implementar, chamadas de manobras, e que são levadas em conta no cálculo.
- Cada operador fornece, também, para cada fronteira, os limites máximos de importação/exportação autorizados, que existem por motivos diversos, muitas vezes de natureza empírica. Por esse motivo, essa lista de valores é chamada de *External Constraints*.
- Baseado em sua própria análise de riscos, cada operador reserva para si próprio margens de segurança para se prevenir contra incertezas que podem acontecer em tempo real. Essas margem, especificadas por elemento crítico, é chamada de FRM (*Flow Remaining Margin*).

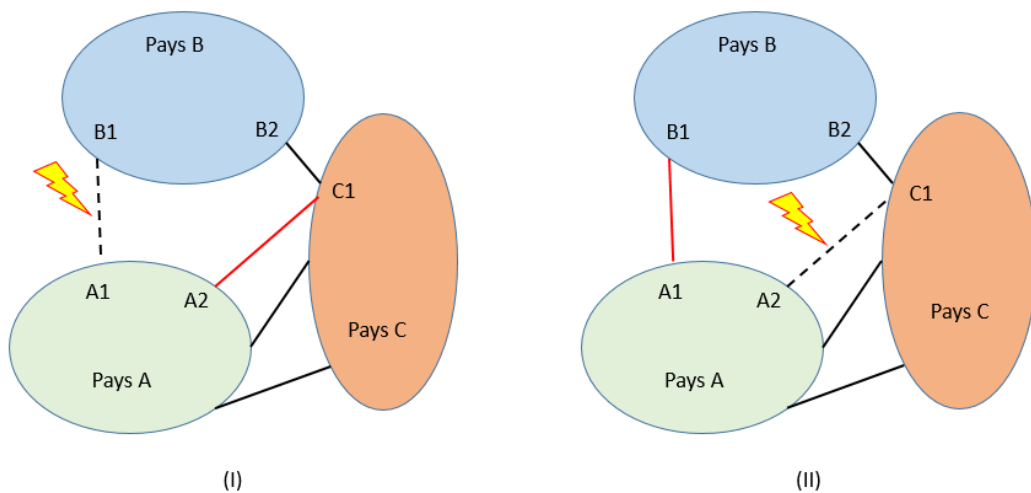
Em seguida, todos os cálculos de fluxo de potência e otimização são feitos por uma entidade centralizada, chamada CORESO. Ao final do cálculo, ela deduz o domínio de segurança *Flow-Based* e, para cada elemento crítico:

- Valores de margens restantes:

$$\text{Margem} = \text{Fluxo Máx} - \text{Fluxo Referência presente no CGM} - \text{FRM}$$

- PTDF (*Power Transfer Distribution Factor*): fatores que representam a variação dos fluxos físicos sobre o elemento crítico induzidos por um acréscimo ou decréscimo na posição líquida de cada país da zona.

O cálculo do domínio de segurança é feito recursivamente de acordo com o método ilustrado abaixo.



**Figura 19 - O princípio do cálculo de capacidades em Flow-Based**

Fonte: criação do autor

A título exemplificativo, baseado na figura 19:

- (I): Estuda-se a perda da linha A1-B1 (incidente monitorado pela regra do N-k) e se observa:
  - O fluxo após falha sobre a linha A2-C1 (elemento monitorado após N-1, de acordo com a regra do N-k)
  - A influência nos fluxos de A para B
  - A influência nos fluxos de A para C
- (II): Estuda-se a perda da linha A2-C1 (incidente monitorado pela regra do N-k) e se observa:
  - O fluxo após falha sobre a linha A1-B1 (elemento monitorado após N-1, de acordo com a regra do N-k)
  - A influência nos fluxos de A para B
  - A influência nos fluxos de A para C

Obtem-se, então, um domínio de segurança que limita os fluxos nas direções  $A \rightarrow B$  e  $A \rightarrow C$ :

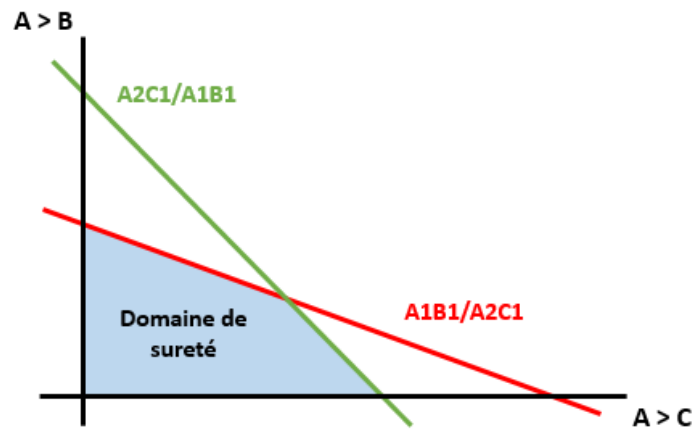


Figura 20 - Obtenção do domínio de segurança

Fonte: criação livre

Após realizar esse procedimento para todos os elementos críticos monitorados, obtém-se o domínio completo, formado pela interseção das curvas de fluxo máximo:

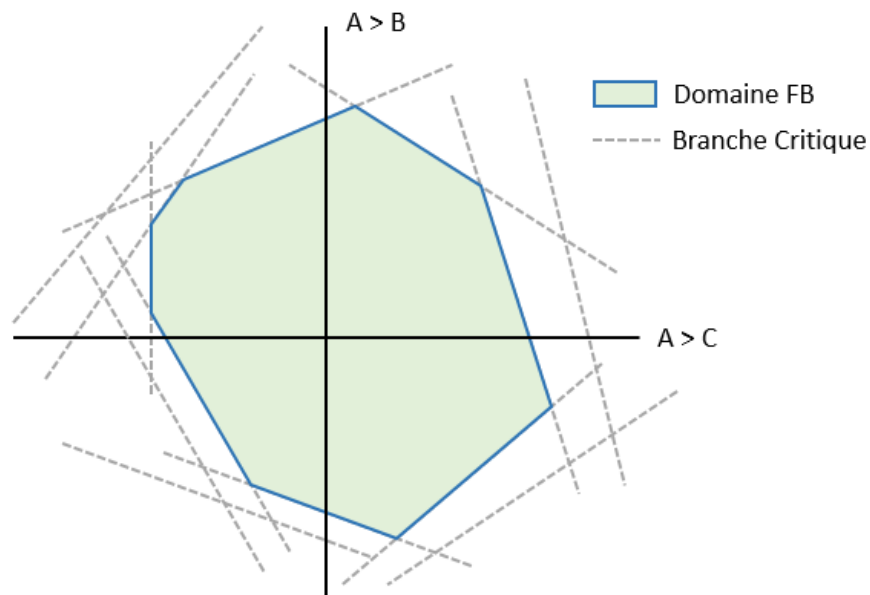


Figura 21 - Domínio Flow-Based final

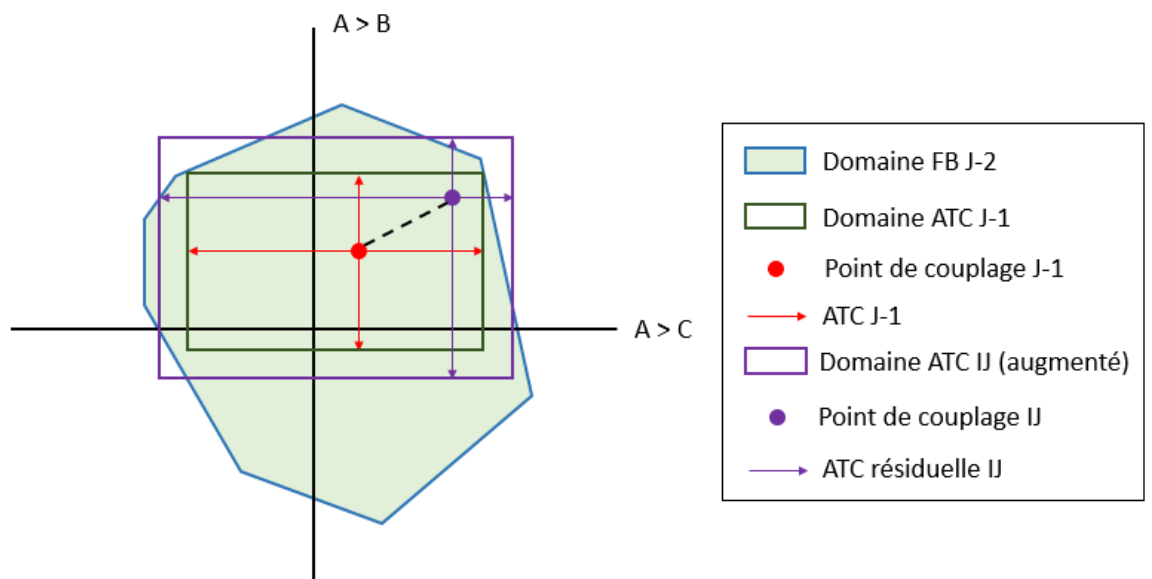
Fonte: criação do autor

Atualmente, o acomplamento de mercados em *Flow-Based* na região CWE é incrementado, à medida que se aproxima do tempo real, segundo a cronologia que segue:

- Em D-2: os operadores nacionais da zona calculam o domínio de segurança *Flow-Based*.

- Em D-1: o mercado se posiciona (ponto de acoplamento D-1) dentro no domínio *Flow-Based*.
- Em D-1: RTE deduz um domínio ATC inicial, centrado no ponto de acoplamento D-1 escolhido pelo mercado, para permitir um reposicionamento ID (*intraday*), ou seja, através de negociações estabelecidas no dia do fornecimento.
- Em D-1: os operadores nacionais executam um processo de aumento do domínio ATC inicial para permitir que o mercado vá mais além (faça importações/exportações mais volumosas) em suas nominções ID levando em conta o cenário atualizado.
- Em ID: o mercado se reposiciona, a cada hora, dentro do domínio ATC ID aumentado.

A dinâmica que acaba de ser posta é ilustrada na figura abaixo:



**Figura 22 - Processo Flow-Based do D-2 ao ID**

Fonte: criação do autor

### 3.6.3 Descrição da problemática do projeto: o software VOLVICC

“No contexto do novo processo *Flow-Based*, o serviço de projetos da RTE-CNES trabalha no desenvolvimento de um software de supervisão multi-horizontes (*D-2 ao tempo*

*real) e transversal ao conjunto de especialidades da sala de operações (expertise sistema e expertise equilíbrio oferta/demanda). Sob pilotagem de dois encarregados de projetos locais e em relação com os utilizadores finais, você irá contribuir à finalização do protótipo (desenvolvido atualmente em VBA para Excel) e à especificação técnica tendo em vista a industrialização dessa ferramenta”.* (Descrição da missão de estágio).

A missão realizada neste projeto consiste na finalização do desenvolvimento em linguagem de programação VBA, na inserção operacional na rotina da sala de controle do despacho nacional e na especificação técnica para industrialização do software VOLVICC.

VOLVICC é o acrônimo para “Validação operacional dos valores *intraday* de capacidade CWE”. Inicialmente, esta ferramenta foi concebida para automatizar o processo de validação do aumento do domínio ATC ID na zona CWE nas fronteiras NL<>BE (Holanda e Bélgica) e NL<>DE (Holanda e Alemanha) – passagem do domínio verde ao domínio violeta ilustrado na Figura 22 acima. À medida que vários dados de entrada eram necessários para esse processo, funcionalidades suplementares de visualização e de tratamento desses dados foram desenvolvidas, respondendo às necessidades mais urgentes da operação frente ao início do processo de cálculo de capacidade *Flow-Based* ocorrido em 2015.

## 4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS ATINGIDOS

O projeto pode ser dividido em três partes:

- i) Especificação técnica da ferramenta
- ii) Desenvolvimento de novas funcionalidades no protótipo em linguagem VBA (*Visual Basic for Applications*)
- iii) Inserção operacional da ferramenta

Quadro 1 - Cronograma

	jul-15	ago-15	set-15	out-15	nov-15	dez-15	Jan-16
Especificação técnica							
Desenvolvimento em VBA							
Inserção operacional							

### 4.1 A FERRAMENTA VOLVICC AO INÍCIO DO PROJETO

#### 4.1.1 Características técnicas

O primeiro protótipo da ferramenta foi desenvolvido em linguagem de programação VBA sobre a ferramenta Excel. O software funcionava sobre a base de uma data, ou seja, o usuário escolhia uma data para a qual, unicamente, a visualização dos dados dos diferentes módulos era feita.



Figura 23 - Escolha da data para visualização na versão inicial do software VOLVICC

Fonte: captura de tela feita pelo autor

A ferramenta possuía as funcionalidades abaixo:

- **Busca no servidor e importação em memória RAM dos dados de entrada:** importação automática dos dados, através de um único clique de botão, a partir de diferentes fontes. A ferramenta busca os arquivos necessários em diversos

servidores diferentes, sendo alguns internos da RTE e outros externos (pertencentes a outros operadores nacionais do sistema ou à CORESO), lê os dados e os conserva em memória RAM. O acesso aos servidores é feito através de scripts executados por linhas de comando. Os arquivos importados são do tipo xml, C e xlsx.

- **Validação dos aumentos de ATC ID CWE:** o módulo que deu origem à ferramenta utiliza quatro arquivos de entrada, carregados automaticamente através de um único clique de botão para, a seguir, realizar automaticamente a verificação do aumento da ATC ID. O processo se dá através de solicitações de aumento provenientes por e-mail do operador holandês Tennet. Este e-mail, assim como os outros três arquivos necessários, é carregado automaticamente. A ferramenta realiza, então, os cálculos de verificação necessários (verificação de margens) e cria um arquivo enviado por e-mail que contém as respostas, positivas ou negativas, às demandas de aumento.
- **Visualização do carregamento dos elementos críticos sobre o mapa das linhas do sistema CWE com base nas nomeações D-1:** esta funcionalidade permite visualizar, sobre o mapa do sistema elétrico, o carregamento dos elementos críticos que limitam as importações e exportações de energia entre países da zona CWE. A visualização era feita com base no domínio de segurança *Flow-Based* calculado em D-2 e no ponto de acoplamento do mercado em D-1. Ela permitia também simular uma perturbação nesse ponto de acoplamento e verificar os novos carregamentos resultantes dessa simulação, sempre com base do domínio FB D-2.
- **Visualização tridimensional dos domínios *Flow-Based*:** este módulo permite visualizar, através de gráficos em 3D, o domínio de segurança *Flow-Based*, o domínio NTC de referência utilizado para o cálculo deste primeiro, o domínio ATC D-1 inicial, o domínio das alocações de longo prazo (LTA, *Long Term Allocations*) alocadas pelo mercado com um mês de antecedência e o ponto de acoplamento posicionado em D-1.
- **CAUSY – módulo de síntese da utilização das capacidades fornecidas aos atores:** este módulo permitia visualizar, sobre um mapa geopolítico da Europa, as posições líquidas de diversos países e os fluxos comerciais que perpassam



as fronteiras. Uma janela de gráficos permitia visualizar sobre 24 pontos horários diversos indicadores de utilização de capacidade alocada ao mercado.

#### **4.1.2 Estado de inserção da ferramenta**

O software VOLVICC era utilizado desde o *Go Live* (implementação operacional) do método de cálculo de capacidade *Flow-Based*, em meio de 2015. Entretanto, a sua utilização era, no início do projeto, incipiente frente às possibilidades que a ferramenta oferecia.

- Um engenheiro responsável pelos estudos de preparação da operação em D-1 o utilizava, uma vez por dia, para executar o processo automático de verificação do aumento das ATCs ID.
- Uma minoria dos operadores (aproximadamente 4 sobre um total de 21) conhecia as outras funcionalidades da ferramenta e as utilizava bastante raramente.

## **4.2 PRIMEIRA ETAPA: ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA**

A primeira etapa do projeto foi consagrada à expressão da especificação técnica do software VOLVICC tendo em vista a industrialização da aplicação. Foi redigido um documento difundido às entidades da empresa capazes de decidir pelo investimento, notavelmente à Direção de Operação (DEXPL, *Direction Exploitation*). Uma apresentação à DEXPL foi realizada após a difusão do documento e apropriação do seu conteúdo pelos interlocutores envolvidos.

O conteúdo desse documento portou sobre:

- A identificação de todos os dados de entrada necessários e seu *timing* (momento preciso em que eles são gerados e se tornam disponíveis)
- Balanço das funcionalidades existentes:
  - Identificação dos riscos à segurança do sistema geridos por cada módulo
  - Descrição do funcionamento de cada módulo
  - Prescrição da arquitetura informática implementada, representada através de fluxogramas

- Evoluções das funcionalidades existentes e novos módulos a serem implementados
- Identificação da cobertura da necessidade, ainda que parcial, por outras ferramentas disponibilizadas pela RTE.

Para realizar a especificação técnica, a seguinte metodologia foi adotada:

- i) Apropriação do conteúdo do software VOLVICC
- ii) Entendimento do código desenvolvido em VBA
- iii) Redação de uma primeira versão do documento contendo necessidades de evolução identificadas
- iv) Apresentação das necessidades identificadas aos operadores (os principais utilizadores) em reunião para recolher as suas opiniões (evoluções, melhorias, novas funcionalidades)
- v) Finalização do documento e difusão aos departamentos da RTE
- vi) Apresentação da especificação técnica ao encarregado da decisão de industrialização do software VOLVICC dentro do Departamento de Operação da RTE.

Os entregáveis desta etapa foram:

- Um documento de 55 páginas portando sobre as especificações técnicas e necessidades da ferramenta
- Apresentação da ferramenta e das necessidades previamente identificadas aos engenheiros operadores do CNES
- Apresentação da ferramenta e das necessidades consolidadas à Direção de Operação da RTE

As necessidades identificadas são apresentadas na seção a seguir, onde também é detalhado o seu desenvolvimento.

### **4.3 SEGUNDA ETAPA: DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA EM VBA PARA EXCEL**

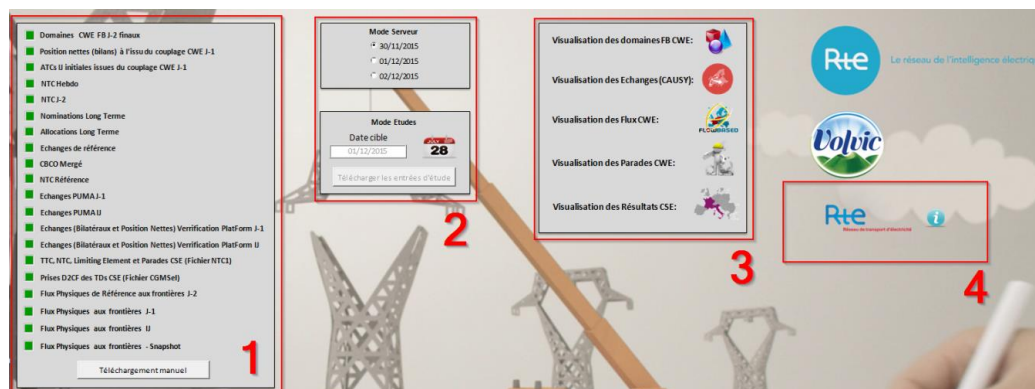
Essa etapa consistiu em desenvolver as evoluções da ferramenta à partir das necessidades identificadas na etapa precedente. As definições de evoluções foram feitas juntamente aos encarregados de projetos locais da equipe PRISE e através de consultas aos engenheiros operadores do CNES.

#### **4.3.1 Criação do “Modo de execução servidor”**

A criação da execução em “modo servidor” é a evolução mais importante realizada nesta etapa. No início do projeto, a ferramenta funcionava somente com base em uma única data. Os dados de entrada eram importados no início da execução do programa, mas não eram feitas atualizações automáticas dos mesmos.

A criação do “modo servidor” consistiu em tornar VOLVIC um supervisor, ou seja, um software que se atualiza automaticamente à medida que os dados de entradas são disponibilizados ou sofrem atualizações. Além disso, VOLVIC passou a funcionar com visualização em três datas diferentes: o dia D (dia do fornecimento), o D+1 e o D+2 – atendendo necessidades da operação em tempo real e da preparação da operação a curto prazo (antes, a ferramenta funcionava apenas para uma única data). Com a criação do “modo servidor”, VOLVIC tornou-se um software supervisor que pode funcionar em permanência com dados tão atualizados quanto possível.

O “modo servidor” teve por consequência a criação do “modo estudos”, no qual o utilizador seleciona uma única data qualquer, podendo esta ser do passado, para a qual ele quer realizar estudos à partir dos dados disponíveis na ferramenta. O “modo estudos” serve, sobretudo, para fazer revisões de eventos passados, enquanto o modo servidor é utilizado na sala de operações em apoio ao tempo real e aos estudos previsionais em D-2 e D-1.



**Figura 24 - Interface principal do software VOLVICC em "modo servidor"**

**Fonte: captura de tela feita pelo autor**

À partir do momento em que a aplicação é lançada, o utilizador deve optar entre o “modo servidor” e o “modo estudos”. Na interface principal do VOLVICC, a região (1), referenciada à figura 24, indica se a importação dos dados de entrada foi feita com sucesso. A região (2) serve para selecionar a data para a qual a visualização dos dados nos diferentes módulos será feita. A região (3) dá acesso às diferentes funcionalidades e a região (4) dá acesso a informações de contato dos responsáveis pela ferramenta.

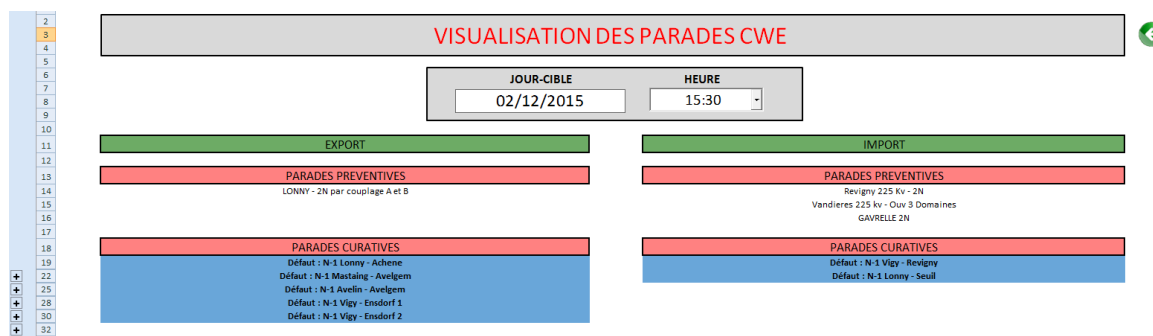
O “modo servidor” fez com que VOLVICC se tornasse uma ferramenta multi-horizontes (do D-2 ao tempo real) de visualização de dados de resultados de cálculo de capacidade e de mercado.

#### **4.3.2 Criação da funcionalidade “Manobras CWE”**

Uma das saídas do processo de cálculo de capacidade *Flow-Based* na região CWE é uma lista de manobras preventivas e corretivas que são disponibilizadas por cada operador nacional aos operadores dos outros países da zona para prevenir ou remediar situações que colocam a segurança do sistema em risco. A todo momento, em tempo real, um operador pode demandar ao operador de outro país a implementação dessas manobras.

A necessidade de uma ferramenta de retorno sobre esse resultado foi identificada. Anteriormente ao software VOLVICC, os operadores da RTE não dispunham de nenhuma fonte de informação sobre quais manobras a RTE havia disponibilizado aos outros operadores nacionais; eles não dominavam a lista de manobras que o processo de cálculo de capacidade havia retido, mas somente aquelas que haviam sido enviadas como entrada ao processo *Flow-Based*.

Para desenvolver essa funcionalidade, uma função de importação de dados presentes em um arquivo .xml chamado CBCO (*Critical Branches Critical Outages*) foi criada. Este arquivo contém todos os resultados da zona CWE, então foi necessário filtrar somente as manobras que dizem respeito à RTE. Em seguida, uma função de exibição desses resultados foi implementada. A interface da funcionalidade é exibida na imagem abaixo.



**Figura 25 - Interface da funcionalidade "Manobras CWE"**

Fonte: captura de tela feita pelo autor

### 4.3.3 Criação da funcionalidade "Resultados CSE"

Atualmente, o cálculo de capacidades de intercâmbio energético na região CSE (França, Itália, Suíça, Áustria e Eslovênia) é feito anualmente, ou seja, uma capacidade anual para cada fronteira é fixada. Entretanto, um processo de cálculo diário em D-2 baseado em ATC está em fase e experimentação, com sucesso, e será operacionalizado em breve.

VOLVICC foi escolhido como o software de visualização dos resultados desse cálculo de capacidade. Uma funcionalidade de visualização desses resultados foi então desenvolvida. A mesma realiza:

- O *download* automático dos arquivos contendo os resultados, hospedados no servidor de um operador nacional estrangeiro
- A importação dos dados contidos nesses arquivos, que são do tipo .xml e .txt
- A exibição dos resultados.



Figura 26 - Interface da funcionalidade "Resultados CSE"

Fonte: captura de tela feita pelo autor

A criação da funcionalidade “Resultados CSE” trata-se do primeiro módulo de VOLVICC inteiramente dedicado a uma região diferente da zona CWE. Isso tornou o software uma ferramenta multi-fronteiras.

#### 4.3.4 Desenvolvimento da visualização de fluxos físicos de potência através das fronteiras

O módulo CAUSY, dedicado à visualização de indicadores de utilização de capacidade alocada ao mercado, conta com um mapa da Europa, centrado sobre a França, com os valores dos intercâmbios comerciais por fronteira e das posições líquidas de cada país. Entretanto, os fluxos comerciais têm apenas uma ligação indireta com os fluxos físicos através das fronteiras. Por esse motivo, foi constatada a necessidade de exibição dos fluxos físicos previsionais e realizados entre os países.

Essa informação se encontra em arquivos gerados pela CORESO que modelizam o sistema à partir dos modelos enviados pelo operador nacional de cada país. Esses arquivos se chamam D2CF (*2 Days Ahead Congestion Forecast*, previsão D-2), DACF (*Day Ahead Congestion Forecast*, previsão D-1), IDCF (*Intraday Congestion Forecast*, previsão intraday) e *Snapshots* (fluxos realizados). Isso permite mostrar, para uma data determinada, desde as previsões feitas em D-2 até os fluxos de potência que foram realizados.



Figura 27 - Interface do módulo CAUSY com os fluxos físicos em flechas verdes

Fonte: captura de tela feita pelo autor

A implementação dessa envolução fez necessária:

- A criação de funções de *download* dos arquivos, do tipo .xml, à partir do servidor da CORESO
- A criação de funções de importação de dados (nesses arquivos, estão presentes os fluxos por linha de interconexão, o que torna necessário fazer a soma de todas as linhas, por fronteira, para se ter o valor global dos fluxos na mesma)
- A exibição dos valores sobre o mapa da Europa

#### 4.3.5 Desenvolvimento de indicadores para a fronteira França-Espanha

Em outubro de 2015, uma nova linha de interconexão em corrente contínua (HVDC, *High-Voltage Direct Current*) entre França e Espanha foi posta em serviço. Trata-se de um projeto de dimensões muito grandes que dobrou a capacidade de importações e exportações entre os dois países.

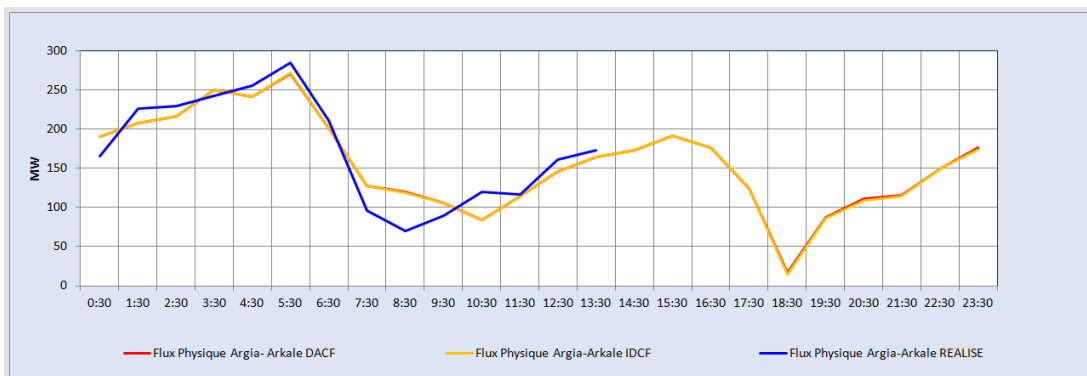
Os primeiros dias de operação dessa nova linha fizeram surgir a necessidade de uma ferramenta para monitorar certos indicadores da fronteira entre os dois países, principalmente o desequilíbrio dos fluxos que passam pelas linhas a leste e oeste. A solução apontada pelas equipes de projeto do CNES foi a incorporação desses indicadores ao software VOLVICC.

Por este motivo, três novos gráficos foram adicionados ao módulo CAUSY. Esses gráficos portam sobre os fluxos físicos, o que faz necessário conhecer o fluxo de potência por linha de interconexão (contrariamente à evolução apresentada na seção 3.3.4, onde foram importados os trânsitos totais por fronteira). Para isso, foi necessário:

- A criação de uma classe (no sentido da programação orientada a objetos) para importar, à partir dos arquivos D2CF, IDCF, DACF e *Snapshots* as informações necessárias por linha de interconexão
- A criação de funções de importação dessas informações
- A criação de funções de exibição dos gráficos.

Os três gráficos dedicados à fronteira França-Espanha são:

- 1) Fluxos físicos em sistema N sobre a linha Argia-Arkale 250kV: a linha em azul exibe os fluxos físicos realizados, enquanto as linhas vermelha e amarela exibem as previsões D-1 e ID, respectivamente.

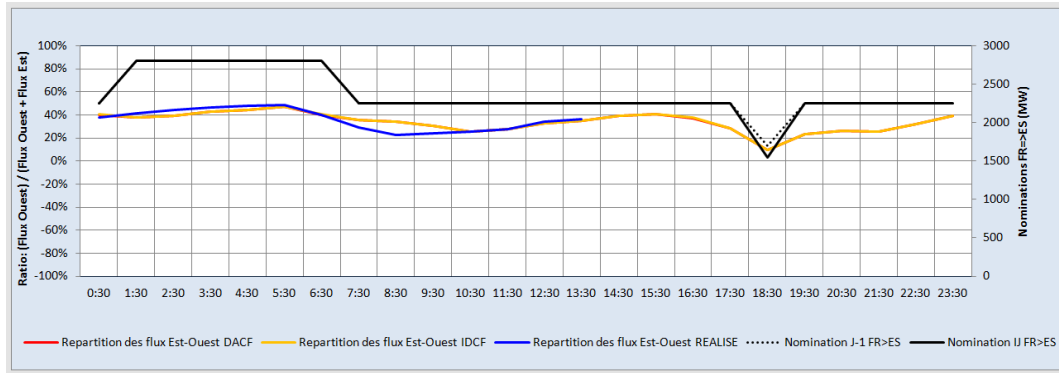


**Figura 28 - Fluxos físicos em N sobre a linha Argia-Arkale 250kV**

**Fonte: captura de tela VOLVICC**

- 2) Desequilíbrio de trânsitos leste/oeste: a curva em preto representa as negociações comerciais França → Espanha e as curvas em cores a porcentagem dos fluxos físicos de potência que passam pelo lado basco da fronteira.



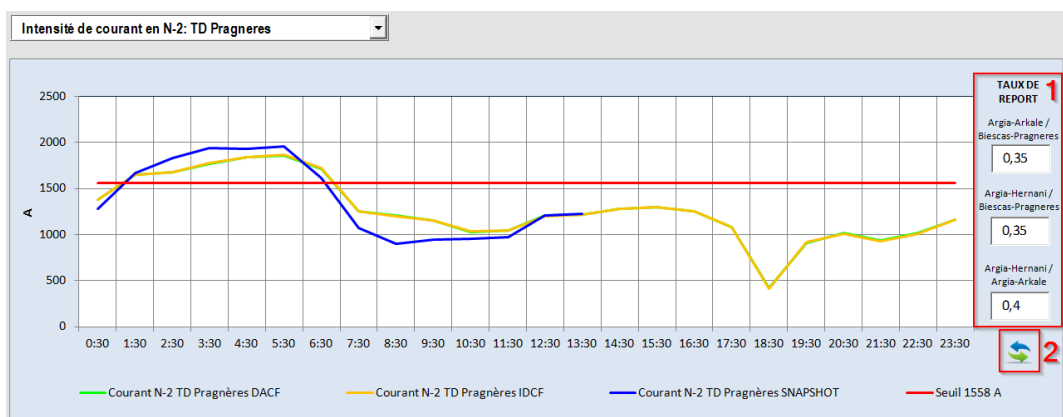


**Figura 29 - Desequilíbrio dos fluxos leste/oeste**

Fonte: captura de tela VOLVICC

- 3) Corrente em N-2 sobre a linha Biescas-Pragnères: a curva em vermelho representa a corrente máxima sobre a linha e as outras curvas representam a corrente sobre a mesma após a perda da linha Argia-Hernani 400kV seguida por uma abertura, por automatismo, da linha Argia-Arkale 250 kV. O cálculo da corrente em N-2 se faz através da equação abaixo, onde os fatores  $\lambda$  representam taxas de reporte (a porcentagem dos fluxos de uma linha Y que passam a transitar por uma linha X após a perda da linha Y):

$$I_{N-2 \text{ Bie-Pra}} = \frac{\left( \begin{array}{l} \lambda_{\text{Arg-Ark} | \text{Bie-Pra}} (\text{Flux}_{N \text{ Arg-Ark}}) + \\ \lambda_{\text{Arg-Her} | \text{Bie-Pra}} (\text{Flux}_{N \text{ Arg-Her}}) + \\ \lambda_{\text{Arg-Ark} | \text{Bie-Pra}} \times \lambda_{\text{Arg-Her} | \text{Arg-Ark}} \times (\text{Flux}_{N \text{ Arg-Her}}) + \\ (\text{Flux}_{N \text{ Bie-Pra}}) \end{array} \right)}{225\text{kV} \times \cos \theta \times \sqrt{3}}$$



**Figura 30 - Corrente em N-2 sobre a linha Biescas-Pragnères**

Fonte: captura de tela VOLVICC

#### 4.3.6 Integração das nomeações ID à funcionalidade “CWE Map”

A funcionalidade “CWE Map” permite facilmente visualizar o carregamento dos elementos críticos da zona CWE. Entretanto, anteriormente, ela somente era exibida de acordo com as nomeações feitas em D-1, sem levar em conta as nomeações ID atualizadas a cada hora.

Para considerar as nomeações ID, foi necessário calcular o delta entre as nomeações ID e D-1 das negociações bilaterais entre os países da zona para, em seguida, adicionar essas variações à posição líquida CWE D-1 de cada país, obtendo-se assim as posições líquidas CWE ID.

Com esta evolução, a funcionalidade “CWE Map” permite facilmente a identificação das limitações de capacidade CWE de acordo com as nomeações ID mais atualizadas, constituindo uma ferramenta de auxílio significativo à operação do sistema francês em tempo real.

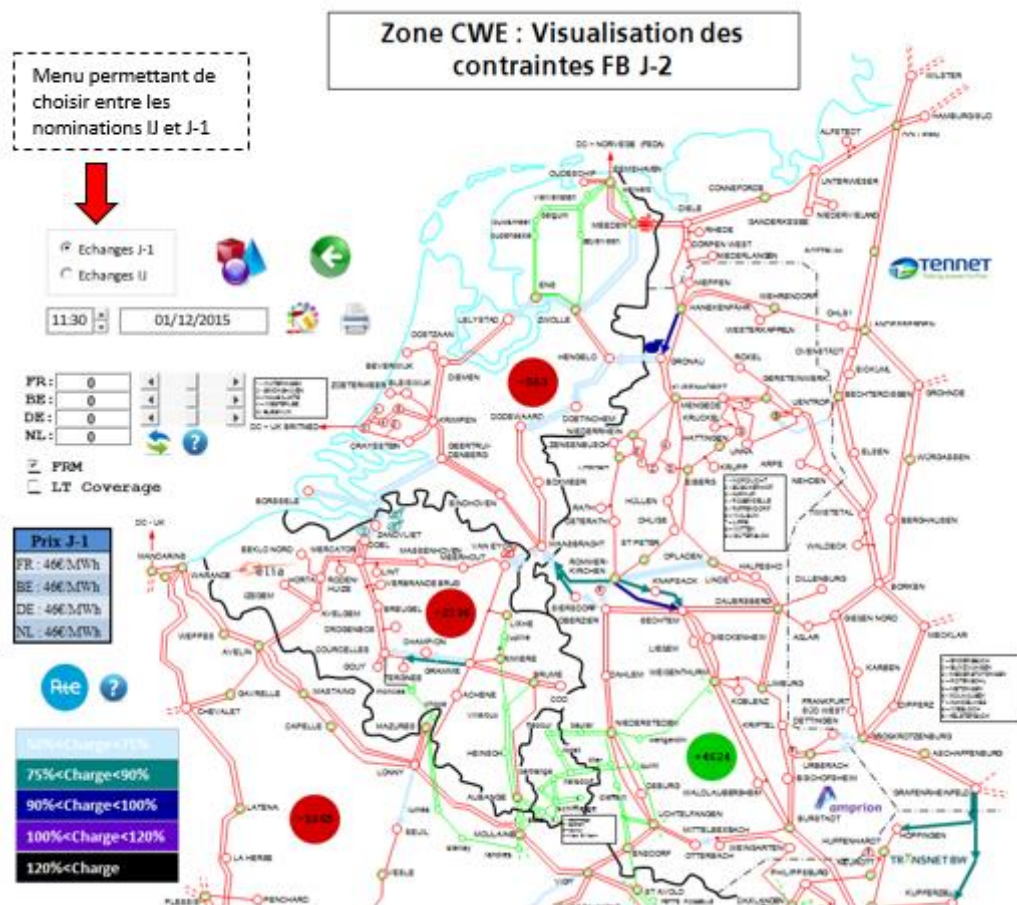


Figura 31 - Interface da funcionalidade "CWE Map"

Fonte: captura de tela feita pelo autor

#### 4.3.7 Integração do ponto de acoplamento ID e de ponto de simulação à funcionalidade de visualização dos domínios 3D CWE

A funcionalidade de visualização dos domínios *Flow-Based* em três dimensões de VOLVICC é o único meio disponível na RTE para fazer a abstração dos resultados do cálculo de capacidade por este método para o modelo teórico; ou seja, visualizar o domínio de segurança *Flow-Based* em 3D assim como os pontos de acoplamento escolhidos pelo mercado.

A exemplo do módulo “CWE Map”, sem calcular os pontos de acoplamento ID atualizados era impossível visualizar o posicionamento dos mesmos em relação ao domínio FB. Essa evolução, aproveitando os cálculos de posições líquidas do módulo “CWE Map”, permitiu plotar os novos pontos de acoplamento ID e também um ponto de simulação qualquer, permitindo verificar assim se os mesmos se enquadram no interior do domínio de segurança.

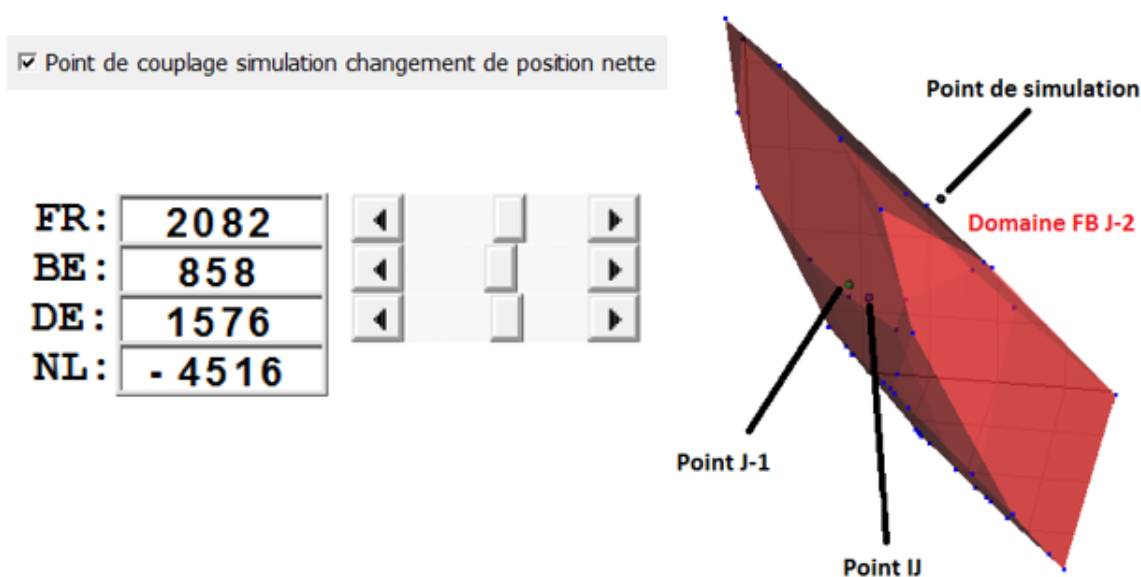


Figura 32 - Funcionalidade de visualização 3D dos domínios FB WE

Fonte: captura de tela feita pelo autor

Essa evolução permite concluir sobre a segurança do sistema frente às nomeações ID bem como validar negociações suplementares feitas entre os operadores nacionais, em tempo real, para reduzir as sobrecargas do sistema.

#### **4.4 TERCEIRA ETAPA: ACOMPANHAMENTO E INSERÇÃO DA FERRAMENTA**

A terceira e última etapa deste projeto foi iniciada após a finalização do desenvolvimento do protótipo em VBA. Essa parte trata do acompanhamento do funcionamento da ferramenta operacionalmente e do plano de inserção do software nos processos operacionais desempenhados na sala de controle.

##### ***4.4.1 Redação do manual do utilizador***

A inserção da ferramenta demandou a elaboração de um manual de utilização. O conteúdo do documento elaborado discorre sobre:

- Os comandos para acessar e utilizar as diferentes funcionalidades
- Bases teóricas sobre o conteúdo que é apresentado, a origem dos dados e as limitações da ferramenta, para que o usuário possa utilizá-lo com maior domínio.

Um documento de 35 páginas foi elaborado, assinado pelo encarregados de projeto da equipe PRISE e difundido a todos os possíveis usuários do CNES (operadores e quadros que participam da elaboração de projetos, formações e análises de retorno sobre experiências).

##### ***4.4.2 Formação dos operadores para utilização da ferramenta***

Uma das problemáticas identificadas no início desse projeto foi que os operadores que eram potenciais utilizadores do software VOLVICC não conheciam as diferentes funcionalidades existentes ou não possuíam o hábito de utilizá-lo, sendo que a utilização permitiria um maior gerenciamento dos riscos ligados à operação do sistema.

O aparecimento da nova versão de VOLVICC, com a incorporação do “modo servidor” e evoluções apresentadas anteriormente, foi ocasião para formar os engenheiros operadores do CNES. Para isso, duas estratégias foram utilizadas:

- Apresentação da nova versão da ferramenta em reunião de operadores
- Formação individual com cada operador

O público alvo das formações individuais foi:

- **Nove CCOs (chefe encarregado da operação) do CNES:** o CCO é aquele que coordena a sala de operação através de dois pontos de vista: sistema e equilíbrio oferta/demanda. Ele é responsável pela operação em tempo real e pelas decisões para amenizar as sobrecargas que podem ocorrer em função das negociações ou de incidentes aleatórios;
- **Doze engenheiros ERCT (estudos do sistema a curto prazo):** os engenheiros de sistema são responsáveis pelos estudos previsionais em D-1 e pelo apoio ao CCO para os estudos ID em tempo real.

Uma formação individual, de duração média de 30min, incluindo demonstração da ferramenta e explicação teórica das diferentes funcionalidades, foi realizada com cada um dos operadores mencionados acima.

#### ***4.4.3 Instalação de um posto fixo dedicado ao software na sala de operação nacional***

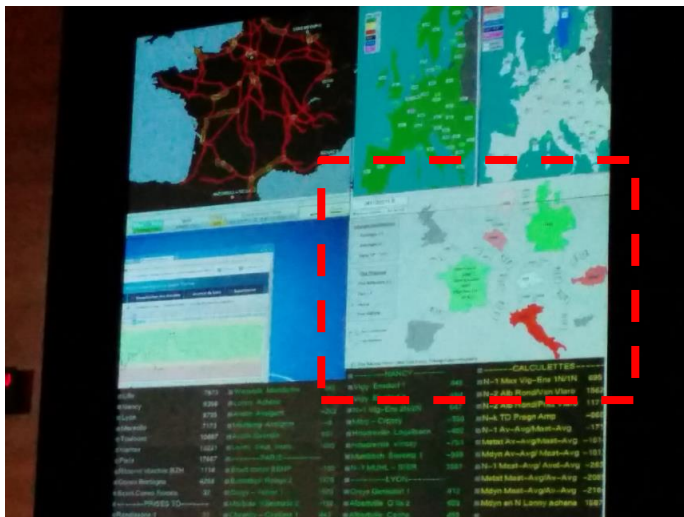
O “modo servidor” fez que VOLVICC se tornasse um software supervisor pelo fato de realizar atualizações automáticas dos dados de entrada que ele utiliza. Dessa forma, um posto fixo dedicado à ferramenta foi instalado na sala de operação nacional. Para isso, contou-se com o apoio das equipes encarregadas dos sistemas informatizados do CNES.

O posto fixo trata-se de um computador dedicado unicamente à ferramenta. Ele pode funcionar, então, em permanência, com dois objetivos:

- Fazer o *download* de novos arquivos automaticamente no momento em que eles se tornam disponíveis, criando assim uma base de dados local acessível a todos os utilizadores de VOLVICC no CNES, o que torna a utilização mais rápida.
- Projetar o conteúdo da ferramenta no painel sinóptico da sala de operação, permitindo ao CCO poder antecipar os valores dos fluxos físicos e comerciais que acontecerão nas próximas horas.

Após consulta aos operadores, decidiu-se que o posto fixo seria instalado na mesa do CCO e ligado diretamente ao painel sinóptico. Neste computador, VOLVICC funciona permanentemente em “modo servidor”. Os outros utilizadores podem acessar a ferramenta à

partir de qualquer computador do CNES para consultas pontuais, o que torna a importação dos dados mais rápida, visto que o *download* para o servidor local já foi feito pelo posto fixo.



**Figura 33 - Funcionalidade CAUSY projetada no painel sinóptico do centro de operação**

Fonte: imagem captada pelo autor

#### **4.4.4 Acompanhamento e debugagem da versão 3.0 de VOLVICC**

Ao término deste projeto, a tarefa de continuar as evoluções do software VOLVICC foi confiada a um desenvolvedor da RTE. Inicialmente, ele adaptou o código às doutrinas de desenvolvimento da empresa, o que não havia sido feito quando do desenvolvimento do protótipo.

Durante os últimos dias deste projeto, foi feito um acompanhamento deste prestador afim de solucionar suas dúvidas quanto a questões envolvendo cálculo de capacidades. Em seguida, a versão reescrita de acordo com as doutrinas de desenvolvimento da empresa foi validada.

Uma lista de evoluções futuras, recolhidas durante as formações com os operadores, foi elaborada e transferida ao novo encarregado pelo desenvolvimento da ferramenta.

### **4.5 BALANÇO DOS RESULTADOS APORTADOS PELO PROJETO À EMPRESA**

Ao término desse período de projeto, o seguinte balanço dos aportes do software VOLVICC à empresa RTE pode ser feito:

- As evoluções realizadas, especialmente o “modo servidor”, fizeram de VOLVICC uma ferramenta multi-fronteira e multi-horizontes (do D-2 ao tempo real) de visualização dos resultados de cálculo de capacidade e de dados de mercado.
- As formações realizadas com cada um dos operadores do CNES tornaram a ferramenta conhecida e utilizada quotidianamente na sala de operações, o que representou um auxílio significativo à gestão de riscos de operação do sistema de transmissão da RTE.
- A perenidade das evoluções da ferramenta frente às demandas futuras foi assegurada pelo acompanhamento do desenvolver que retomou o código da ferramenta. Uma nova versão do código adaptada às doutrinas de desenvolvimento da empresa foi feita e será colocada em funcionamento em breve. Uma lista de evoluções futuras que já foram constatadas foi elaborada e transmitida ao novo encarregado pelo desenvolvimento do VOLVICC.
- Em relação à industrialização da ferramenta, o retorno da Direção de Operação da RTE frente à especificação técnica elaborada durante a primeira fase do projeto foi a seguinte:
  - A Direção é sensível à necessidade da ferramenta e reconheceu positivamente a iniciativa do corpo do CNES de desenvolver um protótipo da mesma que responda às necessidades mais urgentes da operação
  - Uma auditoria da ferramenta foi feita para estimar o custo de industrialização do protótipo
  - A decisão a favor ou contra a industrialização será tomada nos próximos meses.

## 5 CONCLUSÕES

Este projeto foi desenvolvido nos domínios da empresa RTE, a operadora nacional do sistema de transmissão de energia elétrica da França. Neste documento, foi feita uma explanação de conceitos do mercado de energia e de mecanismos de acoplamento através da perspectiva do cálculo de capacidade de intercâmbio energético.

O objetivo principal do projeto foi desenvolver, inserir operacionalmente e elaborar a especificação técnica tendo em vista a industrialização do software VOLVICC. Ao término do mesmo, os entregáveis realizados são:

- Um protótipo operacional desenvolvido em linguagem VBA com novas funcionalidades e evoluções das já existentes;
- As entidades envolvidas na industrialização do software foram sensibilizadas frente à sua necessidade: um encarregado de projeto foi nomeado na Direção de Operação da RTE para estudar e viabilizar o investimento em VOLVICC
- A ferramenta foi inserida na sala nacional de operação, onde ela é utilizada quotidianamente, através da formação dos operadores, da redação de um manual do utilizador e da instalação de um posto fixo dedicado à aplicação.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Connaissance des énergies. « RTE » [online] 29/07/2015.  
[<http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/rte> (consultada em 07/01/2012)]
- [2] Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. « Les marchés européens d'électricité ». Panorama énergies-climat. Paris, 2013. 6 páginas.
- [3] RTE. « Rapport d'activité et développement durable 2014 ». 2015. 56 páginas.
- [4] RTE. « Le marché français et européen d'électricité ». Lâminas da Conferência Centrale Energie. Paris, 19/01/2011.
- [5] RTE. « Organisation de RTE au 9 octobre 2013 ». Disponível no site intranet da empresa. 101 pages.
- [6] RTE. « Mémento de la sûreté du système électrique. Edition 2004 ». Tiempo Editions. Paris, 2004. 271 páginas.
- [7] RTE. « Flow-Based : Formation Initiale ». Lâminas de formação interna RTE. Outubro de 2014. 48 páginas.
- [8] RTE. « Formation Flow-Based : Couplage de marché ATC/FB ». Lâminas de formação interna RTE. Outubro de 2014. 26 páginas.
- [9] PESCAROU Sabine. « Calculs de capacité et Coutos de Congestion ». Lâminas de formação interna RTE. Julho de 2007. 44 páginas.
- [10] EVEN Gwec'hen. « REX du démarrage du Flow-Based J-1 sur la zone CWE. Mai – Novembre 2015 ». Documentação interna RTE. 18/12/2015. 52 páginas.