III. Table des matières

1. Liste des figures 1

2. Liste des tableaux 3

3. Introduction 4

4. Analyse 6

4.1 Analyse de la problématique de l'approvisionnement en électricité 6

4.1.1 L'électricité dans le futur 6

4.1.2 Les trois scénarios de l'OFEN 6

4.1.3 Les trois scénarios de l'AES 8

4.1.4 Consommation 10

4.1.5 Les énergies renouvelables 12

4.1.6 Remplacement du nucléaire 13

4.2 Fonctionnalités du calculateur 15

4.3 État de l'art 16

4.3.1 ENERGYScope : 16

4.3.2 Modèle énergétique SCS 21

4.4 Analyse des outils, langages, librairies 23

4.4.1 Choix des librairies JavaScript 23

4.4.2 Graphiques 24

4.4.3 Interactivité 28

4.4.4 CSS 31

5. Implémentation 32

5.1 Méthodologie agile 32

5.2 Product Backlog 32

5.3 Sprint 1 33

5.3.1 Fonctionnalités 33

5.3.2 Choix métiers 35

5.3.3 Choix techniques 36
5.3.4 Rétrospective de sprint 38
5.4 Sprint 2 40
5.4.1 Fonctionnalités 40
5.4.2 Choix métiers 44
5.4.3 Choix techniques 46
5.4.4 Rétrospective de sprint 47
5.5 Sprint 3 50
5.5.1 Fonctionnalités 50
5.5.2 Choix métiers 52
5.5.3 Choix techniques 53
5.5.4 Rétrospective de sprint 54
5.6 Rétrospective de l'implémentation 56
5.6.1 Utilisation de la méthodologie « SCRUM » 56
5.6.2 Résultat final 57
5.6.3 Éléments non réalisés 57
6. Conclusion 58
7. Annexes 60
I. Planning 60
II. Product Backlog 61
8. Bibliographie 62
9. Déclaration de l'auteur 64

1. Liste des figures

Figure 1 - Rapport entre consommation d'électricité, croissance démographique et produit intérieur brut. (Association des entreprises électriques suisses, 2012) 10
Figure 2 - Graphique de la consommation d'énergie ((OFEN), Perspectives énergétiques 2050, 2013) 12
Figure 3 - Paramètre de données (Centre l'énergie de l'EPFL et IPESE, 2012) 19
Figure 4 - Comparaisons de scénarios (Centre l'énergie de l'EPFL et IPESE, 2012) 20
Figure 5 - Production d'énergie au fil de l'année (Super Computing Systems (SCS), 2013) 21
Figure 6 - Production d'énergie au fil d'une semaine d'été (Super Computing Systems (SCS), 2013) .. 22
Figure 7 - Logo de D3.js (D3js.org, 2015) 25
Figure 8 - Exemple de graphique D3.js (D3js.org, 2015) 25
Figure 9 - Logo de Highcharts (Highcharts.com, 2016) 26
Figure 10 - Exemple de graphique Highcharts (Highcharts.com, 2016) 26
Figure 11 - Logo de jQuery (jQuery.com, 2016) 28
Figure 12 - Logo de AngularJS (angularjs.org, 2016) 29
Figure 13 - Logo de React (Facebook, 2016) 29
Figure 14 - Logo de Bootstrap (Bootstrap, 2014) 31
Figure 15 - Maquette du graphique de la production et de la consommation (Zufferey Arnaud, 2016) 34
Figure 16 - Maquette du graphique de la différence de production et de consommation (Zufferey Arnaud, 2016) 34
Figure 17 - Maquette de la fermeture des centrales nucléaires (Zufferey Arnaud, 2016) 35
Figure 18 - Résultat du graphique de la production et de la consommation (Fallet Guillaume, 2016) 39
Figure 19 - Résultat du graphique de la différence de production et de consommation (Fallet Guillaume, 2016) 39
Figure 20 - Résultat de la fermeture des centrales nucléaires (Fallet Guillaume, 2016) 39
Figure 21 - Maquette de la progression de la production et de la consommation (Zufferey Arnaud, 2016) 41
Figure 22 - Maquette d'évolution de prix (Zufferey Arnaud, 2016) 42
Figure 23 - Maquette de la construction de nouvelles centrales (Zufferey Arnaud, 2016) 42
Figure 24 - Résultat de la progression de la production (Fallet Guillaume, 2016) 48
Figure 25 - Résultat de la progression de consommation (Fallet Guillaume, 2016) 48
Figure 26 - Résultat de l'évolution du prix (Fallet Guillaume, 2016) 48

Figure 27 - Résultat de la construction de nouvelles centrales (Fallet Guillaume, 2016)..... 48
Figure 28 - Résultat du graphique de l'évolution du prix (Fallet Guillaume, 2016) 49
Figure 29 - Résultat du graphique de l'évolution des émissions de CO_2 (Fallet Guillaume, 2016) 49
Figure 30 - Résultat de l'erreur lors d'une mauvaise entrée de l'utilisateur (Fallet Guillaume, 2016) . 49
Figure 31 - Résultat des indicateurs concernant le prix (Fallet Guillaume, 2016) 50
Figure 32 - Résultat des indicateurs concernant les émissions de CO_2 (Fallet Guillaume, 2016) 50
Figure 33 - Résultat de la sélection de scénarios (Fallet Guillaume, 2016)..... 54
Figure 34 - Résultat de l'exportation des données sous forme de tableaux (Fallet Guillaume, 2016) . 55
Figure 35 - Résultat de l'exportation de données sous forme d'image (Fallet Guillaume, 2016)..... 55
Figure 36 - Résultat du changement d'unité du graphique d'émissions de CO_2 (Fallet Guillaume, 2016) 55

2. Liste des tableaux

Tableau 1 - Scénarios de l'AES (Association des entreprises électriques suisses, 2012) 9

Tableau 2 - Comparatif des librairies de création de graphique (Fallet Guillaume, 2016) 27

Tableau 3 - Comparatif des librairies d'interactions (Fallet Guillaume, 2016)..... 30

3. Introduction

L'énergie nucléaire est un pilier de la production électrique en Suisse actuellement. Les cinq centrales combinées produisent environ 40% de l'électricité. Le Conseil Fédéral a adopté la « stratégie énergétique 2050 » qui vise à se passer progressivement du nucléaire et à le remplacer par une augmentation de la production hydraulique, éolienne, solaire et géothermique. De nombreuses hypothèses sont avancées sur les chiffres exactes que devrait prendre cette augmentation pour complétement compenser l'énergie nucléaire. Il existe aussi différents scénarios détaillant l'évolution de la consommation. Quand certains pensent que celle-ci va augmenter, d'autre sont d'avis qu'elle va rester stable voire même descendre.

Afin de pouvoir vérifier la viabilité des différentes propositions, ce travail de Bachelor se concentre sur le développement d'un calculateur qui permet de visualiser différents scénarios. Cela se fait sous formes de graphiques et d'indicateurs créés à l'aide de paramètres entrés par l'utilisateur.

Le but est donc d'avoir à disposition un outil d'aide à la décision qui faciliterait l'élaboration de stratégies énergétiques crédibles. Le calculateur se doit d'être accessible à des personnes sans connaissances spécifiques concernant le domaine de l'énergie. Il doit donc être simple et intuitif.

Ce travail de Bachelor se décompose selon les axes suivants ; une première partie est consacrée à faire un point sur la situation actuelle en matière d'électricité en Suisse, ainsi qu'à une synthèse sur les perspectives de développement des énergies renouvelables.

Une deuxième partie est focalisée sur les besoins qui découlent de la précédente analyse en matière de visualisation. Elle détaille de quelles fonctionnalités doit-être munis le calculateur. Elle contient aussi un état-de-l 'art qui décrit ce qu'existe déjà en matière d'outils d'aide à la décision actuellement en Suisse.

Ensuite, une troisième partie est consacrée à l'analyse des outils (librairies) utiles au développement du calculateur. Pour chaque catégorie d'outils, un choix est fait sur la base d'une liste de critères.

La quatrième et dernière partie est une synthèse de la phase de développement. Chaque étape y est détaillée à l'aide de la liste des fonctionnalités implémentées ainsi qu'avec tous les choix (métiers et techniques) qui ont dû être effectués. Ceci est accompagné à chaque fois par des captures d'écran des fonctionnalités implémentées.

Le travail se termine par une rétrospective de la période de développement. Un bilan est fait concernant la méthodologie utilisée (« SCRUM ») et sur le résultat final du calculateur. On peut aussi voir apparaître à la fin les éléments non réalisés ainsi que les perspectives d'améliorations.

Rapport-Gratuit.com

4. Analyse

4.1 Analyse de la problématique de l'approvisionnement en électricité

4.1.1 L'électricité dans le futur

L'électricité est une énergie extrêmement importante dans la société occidentale. Pour l'instant, en Suisse, elle est produite à environ 55% par la force hydraulique, un peu moins de 40% par le nucléaire et le reste est dû à diverses sources telles que le gaz, le photovoltaïque et l'éolien. ((OFEN), Les principaux chiffres clés, 2016)

Il a été décidé que la Suisse devait se débarrasser du nucléaire d'ici 2050. Ceci principalement en raison des déchets produits et du risque d'accident. (DETEC, 2016)

Les questions qui se posent donc sont les suivantes : comment augmenter la production d'électricité venant d'énergie renouvelable ? Et comment remplacer ces 40% de production électrique d'origine nucléaire d'ici 2050 ?

4.1.2 Les trois scénarios de l'OFEN

Pour répondre à ces questions, le Conseil fédéral a proposé trois variantes d'offre d'électricité en 2011. La première consistait à ne rien changer au mix actuel et à remplacer les actuelles centrales nucléaires par de nouvelles, la deuxième à ne pas remplacer les centrales nucléaires à la fin de leur période d'exploitation et la troisième à les fermer avant la fin de leur période d'exploitation.

Il a ensuite été décidé de renoncer à remplacer les actuelles centrales. La deuxième variante a donc été étudiée en profondeur par l'OFEN (Office Fédéral de l'Énergie). De cette étude sont ressorties trois scénarios : « poursuite de la politique énergétique actuelle », « mesures politiques du Conseil fédéral » et « nouvelle politique énergétique ». Ces scénarios concernent la demande en électricité plutôt que l'offre, qui elle est fondée sur la décision du Parlement et du Conseil fédéral.

Nous remarquons ces dernières années une baisse de la consommation en énergie par habitant en Suisse, ceci est dû à une meilleure efficience énergétique. Cette tendance va vraisemblablement continuer et il est donc raisonnable de s'appuyer dessus.

Le premier scénario envisagé (« **poursuite de la politique actuelle** » ou « PPA ») garde cette tendance en l'accroissant légèrement mais le nombre d'objets consommant de l'énergie augmente. La consommation d'énergie est néanmoins prévue de descendre légèrement.

Le deuxième scénario (« **mesures politiques du Conseil fédéral** » ou « PCF ») quant à lui intensifie encore plus cette baisse de consommation, celui-ci est accompagné de plusieurs mesures visant à la réduire en plus.

Le troisième scénario (« **nouvelle politique énergétique** », ou « NPE ») concerne surtout les émissions de CO_2. Elle mise sur une collaboration avec l'étranger en matière d'énergie. Elle table sur une efficience énergétique encore meilleure en utilisant les technologies les plus récentes. ((OFEN), Perspectives énergétiques 2050, 2013)

Les trois scénarios proposent une baisse notable de la consommation d'énergie en Suisse d'ici 2050.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

4.1.3 Les trois scénarios de l'AES

L'Association des entreprises Électriques Suisses (AES) a aussi proposé trois scénarios pour le futur. Chacun de ces scénarios décrit une façon de compenser la perte du nucléaire.

Chacun de ces trois scénarios présume un arrêt total de la production électrique d'origine nucléaire d'ici 2050.

Le premier scénario (nommé le « **chemin de montagne** ») envisage une consommation d'électricité grimpant de 0.6% par année jusqu'en 2050 (+25% au total par rapport à 2012).

Il propose d'augmenter la production d'électricité d'origine renouvelable de 13 TWh. Pour compenser l'arrêt du nucléaire, cela ne suffirait pas, il faudrait donc construire 7 ou 8 centrales à gaz et importer la différence.

Ce scénario table sur une augmentation du prix de l'électricité d'au moins 30% et implique un contrôle de l'état bien plus poussé dans la consommation d'électricité. Les coûts engendrés par la construction de nouvelles infrastructures se chiffreraient à au moins 25 milliards de francs.

Le deuxième scénario (le « **sentier alpin** ») suggère que la consommation d'électricité va augmenter de seulement 0.36% par année jusqu'en 2050 pour atteindre une différence de 15% par rapport à 2012.

La production d'électricité d'origine renouvelable augmenterait de 23 TWh et il suffirait donc de 4 à 5 centrales à gaz et de l'importation pour compenser la perte du nucléaire.

Les conséquences de cela seraient une hausse du prix de l'électricité d'environ 45%. La mise en place des nouvelles infrastructures aurait un coût de plus de 40 milliards de francs.

Le dernier scénario, appelé « **la voie d'escalade** », est le scénario qui implique le plus de changements. Notamment au niveau du mode de vie des habitants et de la production d'électricité.

En effet il propose une diminution à long terme de la consommation électrique. Celle-ci continuerait d'augmenter jusqu'aux alentours de 2025 puis diminuerait jusqu'en 2050 pour

atteindre une différence d'environ -7% par rapport à 2012. L'AES soutient que cela impliquerait des sacrifices de la part de la population.

La production d'électricité de source renouvelable augmenterait de 32 TWh.

Aucune centrale à gaz n'aurait besoin d'être construite, la différence se ferait exclusivement par le biais de l'importation. Les centrales de pompage-turbinage seront bien plus exploitées.

La mise en place des nouvelles infrastructures (photovoltaïque et hydrauliques) couterait plus de 50 milliards de francs.

Le prix de l'électricité augmenterait de plus de 75%. (Association des entreprises électriques suisses, 2012)

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Consommation en TWh	*81*	*73*	*60,5*
Augmentation par an	*0,60%*	*0,36%*	*-0,18%*
Différence par rapport à 2012	*25%*	*15%*	*+ 7% jusqu'en 2025* *-14% jusqu'en 2050*
Production électrique d'origine renouvelable supplémentaire en TWh	*13*	*23*	*32*
Centrales à gaz pour compenser	*7-8*	*4-5*	*0*
Coûts d'investissement en milliards de francs	*25*	*40*	*50*
% d'importations	*25%*	*15%*	*32%*
Prix de l'électricité	*+30%*	*+45%*	*+75%*

Tableau 1 : Tableau des scénarios de l'AES (Association des entreprises électriques suisses, 2012)

Il est cependant possible de relativiser ces scénarios alarmistes. En effet, les récents chiffres indiquent que se passer du nucléaire est tout à fait envisageable et ne relève pas de l'utopie.

Un rapport de BNEF (Bloomberg New Energy Finance) montre que d'ici 2030, les sources d'électricités renouvelables seront moins chères que toutes les autres. En effet le prix du solaire est pressenti de baisser de 60% alors que celui de l'éolien de 41%. (RTS, 2016)

4.1.4 Consommation

Il est difficile d'estimer comment la consommation d'électricité va évoluer en Suisse ces prochaines années.

D'un côté la population augmente et il y a de plus en plus de matériel consommant de l'électricité. Et de l'autre, l'électricité est utilisée avec de de plus en plus d'efficience.

Ces deux faits conduisent à penser que la consommation d'électricité doit se stabiliser, ou alors croître lentement.

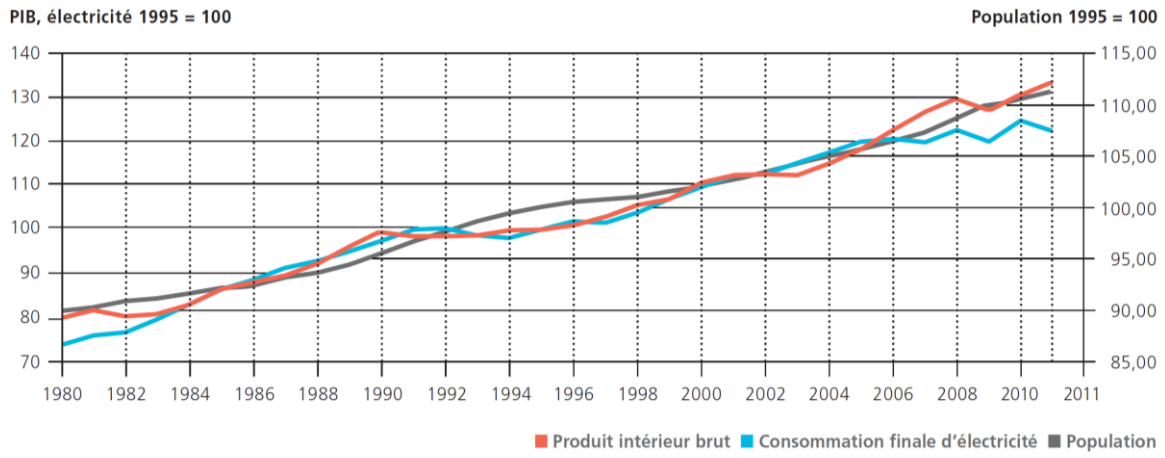


Figure 1 - Rapport entre consommation d'électricité, croissance démographique et produit intérieur brut. (Association des entreprises électriques suisses, 2012)

Si nous regardons ce graphique, nous voyons une corrélation entre l'évolution du PIB, de la population et de la consommation en électricité. Cela vient du fait que plus un pays est

développé, plus ses habitants peuvent s'offrir d'appareils électriques et donc consomment d'électricité.

Cependant, comme dit plus haut, cette tendance semble s'être arrêtée et elle commence à s'inverser.

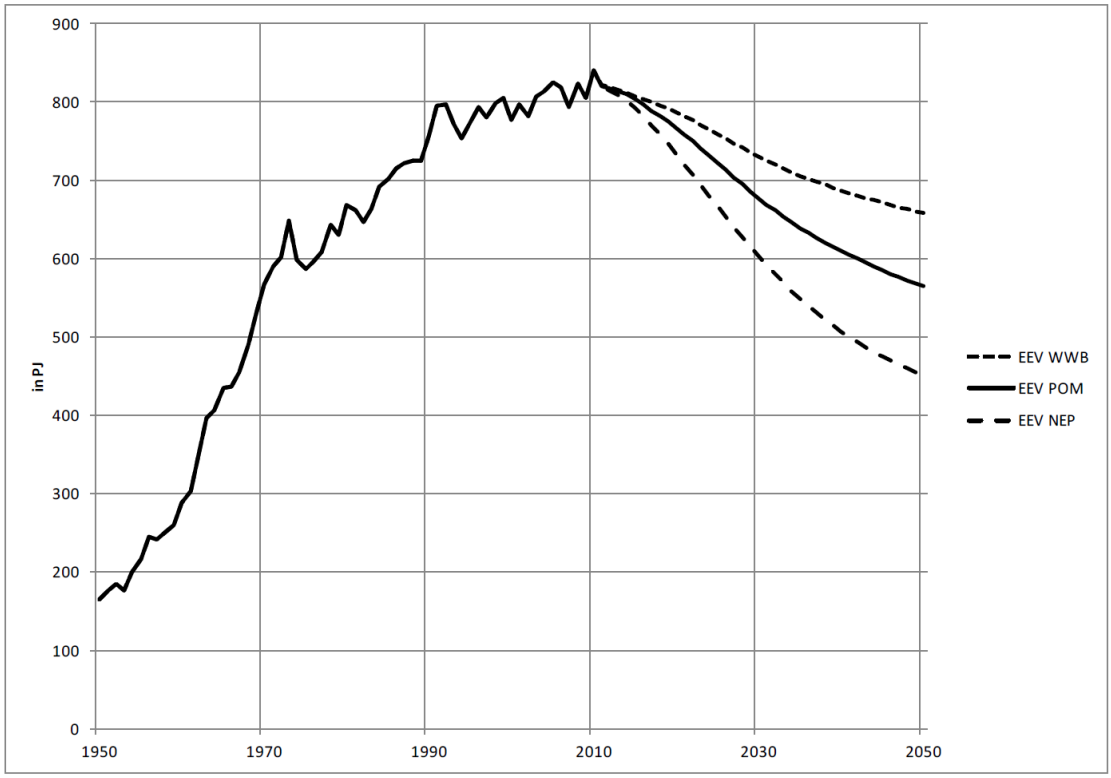
Nous pouvons voir sur le graphique que c'est ce qu'il est en train de se passer si on regarde la courbe bleue depuis 2008, on voit que celle-ci a plus tendance à stagner que les deux autres. Si d'autres mesures étaient prises pour augmenter l'efficience énergétique, il serait possible en théorie de stabiliser voire de baisser la consommation électrique sans pour autant cesser la hausse du PIB et de la population.

Quand on regarde la courbe du passé, on se rend compte que la courbe de la consommation a crû de façon constante à raison de 1% par année.

L'AES semble penser dans son rapport que la consommation d'électricité en Suisse va continuer de monter à moins de profonds changements dans les habitudes des habitants. (Association des entreprises électriques suisses, 2012)

En revanche, le rapport de l'OFEN prévoit des grandes baisses de la consommation électrique d'ici 2050 pouvant aller jusqu'à -46% en 2050. ((OFEN), Perspectives énergétiques 2050, 2013)

Graphique 1 Consommation d'énergie[1] en Suisse, 1950 – 2050, en PJ.



1) Sans le trafic aérien international, sans différence statistique

Légende

EEV WWB : Consommation finale d'énergie, scénario PPA
EEV POM : Consommation finale d'énergie, scénario PCF
EEV NEP : Consommation finale d'énergie, scénario NPE

Source: Prognos, 2012

Figure 2 - Graphique de la consommation d'énergie ((OFEN), Perspectives énergétiques 2050, 2013)

4.1.5 Les énergies renouvelables

La Suisse produit déjà presque 60% de son électricité de façon renouvelable. Les trois scénarios proposés par l'AES suggèrent respectivement une part similaire, une part de 70% et une part de 100%. (Association des entreprises électriques suisses, 2012)

Un rapport de NC WARN (Waste Awareness & Reduction Network) appelé *« Solar and Nuclear Costs —The Historic Crossover »* de 2010 pointe cependant le fait que l'électricité solaire est désormais moins chère que l'électricité nucléaire. Cela implique qu'il est tout à fait possible de remplacer le nucléaire par le solaire d'ici 2050 sans augmenter le prix de l'électricité. (J. O. Blackburn, S. Cunningham, 2012).

En outre un autre rapport d'IRENA (International Renewable Energy Agency) daté de 2016 confirme cela et soutient aussi qu'il en va de même pour l'électricité éolienne. (Agence d'Énergies renouvelables internationales (IRENA), 2016)

4.1.6 Remplacement du nucléaire

Il est donc clair que d'un point de vue économique il est désormais préférable d'installer des panneaux solaires et des éoliennes plutôt que de construire de nouvelles centrales nucléaires.

Mais la question qui se pose est de savoir si la Suisse dispose d'un potentiel hydraulique, solaire et éolien suffisant pour remplacer les centrales nucléaires actuelles.

Le rapport de l'OFEN sur le potentiel hydroélectrique de la Suisse datant de 2012 conclut que la production hydraulique pourrait augmenter de 1,5 à 3 TWh par année en fonction des conditions économiques et de l'évolution du climat. (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2012)

Sur le site officiel de l'OFEN sur la rubrique parlant de l'énergie éolienne, on peut y lire que d'ici 2050, 4 TWh par année pourraient être produits de cette façon. (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2016)

Concernant l'énergie solaire, le centre de l'énergie de l'EPFL avance qu'il est envisageable que d'ici 2050, entre 35% et 45% de la consommation soit comblée par de l'énergie solaire. Cela représente un peu plus de 24 TWh par an. (Centre de l'énergie de l'EPFL, 2016)

La géothermie est une énergie à très haut potentiel selon les spécialistes. Voici ce qu'on peut lire dans un article écrit en 2013 par Scott Capper, journaliste pour swissinfo.ch.

« Selon les milieux de la géothermie, le potentiel de l'énergie géothermique pour la Suisse est de 80'000 TWh (térawattheures). La consommation annuelle suisse de l'électricité est d'environ 60 TWh. La stratégie énergétique 2050 du gouvernement prévoit la production d'environ 4.4TWh en ressource géothermiques (aujourd'hui elle est nulle) ».

(Scott Capper, 2013)

Les centrales nucléaires produisent 25 TWh d'électricité par an actuellement. (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2016)

Un rapide calcul suffit pour conclure que si on combine le potentiel de l'énergie hydraulique, solaire, éolienne et géothermique, respectivement 3, 24, 4 et 4,4 TWh par an, il est possible de totalement remplacer les 25 TWh par an produits actuellement par le nucléaire d'ici 2050.

4.2 Fonctionnalités du calculateur

Après cette analyse de la situation actuelle, il devient un peu plus clair de quels seront les besoins du calculateur pour la transition énergétique. Le niveau de complexité devra être suffisamment élevé afin de pouvoir visualiser un scénario précis, mais pas trop élevé pour ne pas prendre le risque de créer une incompréhension chez l'utilisateur. Le calculateur sera destiné à visualiser les différents enjeux de la production électrique en Suisse seulement.

Après discussion avec M. Zufferey et M. Jacquod, voici les fonctionnalités qu'il sera nécessaire de voir apparaître dans le calculateur :

- Pouvoir choisir la date de fermeture des actuelles centrales nucléaires.
- Pouvoir choisir le taux de progression de la consommation.
- Pouvoir choisir le type de nouvelles centrales à construire ainsi que leur date et puissance.
- Pouvoir choisir les taux de progression des productions d'électricité (hydrauliques, solaires, éoliennes ainsi que géothermiques).
- Pouvoir choisir les prix des diverses productions d'électricité ainsi que leur évolution.
- Pouvoir visualiser l'historique de la production et de la consommation d'électricité.
- Pouvoir visualiser l'avenir de la production et de la consommation d'électricité en utilisant les données entrées par l'utilisateur.
- Pouvoir visualiser l'avenir du coût de l'électricité ainsi que de la production de CO2 en utilisant les données entrées par l'utilisateur.
- Pouvoir charger une liste de scénarios préétablis (OFEN, AES, Greenpeace)

Ceci est une liste d'éléments que le calculateur doit pouvoir faire. Cependant le niveau de détails de ces fonctionnalités se doit d'être encore affiné par la suite afin de pouvoir les traduire en code informatique.

Rapport-Gratuit.com

4.3 État de l’art

Des recherches ont été menées afin de déterminer si un outil similaire existait déjà en Suisse.

Deux ont été trouvés. Le premier est l’ENERGYScope de l’EPFL et il est en français. Le deuxième est le modèle énergétique fait par SCS (Super Computing Systems) et est en allemand.

4.3.1 ENERGYScope :

4.3.1.1 Présentation

Le premier outil analysé ici est l’ENERGYScope. Il a été développé par une équipe de l’École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), le chef du projet était le Prof. Daniel Favrat du centre de l’énergie, directeur des technologies. (Centre l'énergie de l'EPFL et IPESE, 2012)

Il permet de :

- « Visualiser la situation énergétique actuelle de la Suisse »
- « Découvrir les scénarios énergétiques pour la Suisse élaborés par la Confédération pour 2035 et 2050 »
- « Créez votre propre scénario énergétique à l'aide de simples curseurs, et mesurez les implications de vos choix pour la Suisse »
- « Comprendre le système énergétique suisse et ses enjeux grâce à un quiz interactif, allant du niveau "simple" à "expert". »

Le site en lui-même permet d’autres choses, telles que suivre des petites leçons, accéder à une liste de plus de 100 questions-réponses, consulter un manuel d’utilisation du calculateur, de regarder une vidéo pour apprendre à l’utiliser et d’effectuer un quizz pour découvrir les possibilités du calculateur.

Nous pouvons aussi noter la présente d'un wiki intégré au calculateur qui permet de répondre aux interrogations techniques de l'utilisateur.

L'outil ne se limite donc pas un à un calculateur isolé mais est doté d'une série d'éléments permettant son utilisation et une compréhension de ses fonctions bien plus vaste.

4.3.1.2 Utilisation

Le calculateur offre deux modes, la version simplifiée et la version avancée.

La version simplifiée permet de comparer la situation actuelle (2011) avec une liste prédéfinie de 2 scénarios (2035 et 2050). Il est possible de comparer trois aspects : **l'énergie finale, l'électricité et les émissions de CO_2**.

Il est aussi possible de modifier les paramètres du scénario grâce à une liste de paramètres :

- **Socio-économique**
    - Population [million habitants]
    - Croissance économique [%/an]
- **Efficacité énergétique**
    - Bâtiment : demande spécifique [kWh/m2]
    - Industrie : intensité énergétique [kWh/CHF]
    - Électroménager : consommation moyenne [kWh/ménage]
    - Éclairage : consommation moyenne [kWh/m2]
- **Transport**
    - Transport public [%]
    - Transport de marchandises par train [%]
    - Biocarburants [%]
- **Électricité**
    - Renouvelable
        - Solaire photovoltaïque [GW]
        - Éoliennes [GW]
        - Hydro à accumulation [GW]

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

        - Hydro fil-de-l ‘eau [GW]
        - Géothermie profonde [GW]
        - Stockage saisonnier
    - Non-Renouvelable
        - Centrales nucléaires [GW]
        - Centrales à gaz [GW]
        - Centrales au charbon [GW]
        - Capture et stockage du CO_2

Tout changement de ces paramètres (effectués grâce des curseurs) entraine un changement immédiat dans les graphiques. Il est donc possible de créer des scénarios personnalisés en modifiant ces paramètres et de voir le résultat ensuite à droite.

La version avancée rajoute trois éléments majeurs : le premier est la possibilité de choisir parmi six scénarios prédéfinis à la place de trois. Il devient aussi possible de comparer deux scénarios futurs.

La deuxième est la possibilité de consulter la part d’énergie renouvelable dans le mix énergétique, les déchets produits et les coûts engendrés.

Le troisième élément supplémentaire est l’ajout de deux catégories dans les paramètres modifiables. Ce sont les suivants :

- **Chauffage**
    - Chaleur industrielle
        - Cogénération
        - Chaudière
        - Chauffage électrique
    - Chauffage : Niveau de centralisation
        - Chauffage à distance
        - Décentralisé
    - Chauffage : Chauffage à distance
        - Pompe à chaleur

        - Cogénération
        - Chaudière
        - Géothermie profonde
    - Chauffage : Chauffage central et individuel
        - Pompe à chaleur électrique
        - Pompe à chaleur thermique
        - Cogénération
        - Cogénération avancée
        - Chaudière
        - Solaire
        - Chauffage électrique
    - Combustibles
        - Gaz naturel
        - Bois
        - Mazout
        - Déchets
        - Charbon
- **Coûts**
        - Prix de l'énergie
        - Coûts d'investissement
        - Taux d'intérêt

Figure 3 - Paramètre de données (Centre l'énergie de l'EPFL et IPESE, 2012)

4.3.1.3 Résultats

L'affichage des résultats se fait sous forme graphique (histogramme). Il y a pour chaque catégorie une représensation de chaque scénario. Il peut être vu de façon anuelle et saisonnière, plus mensuelle pour la version avancée.

Dans l'onglet « Tous », Nous pouvons voir les résultats dans leur globalité (toutes les catégories).

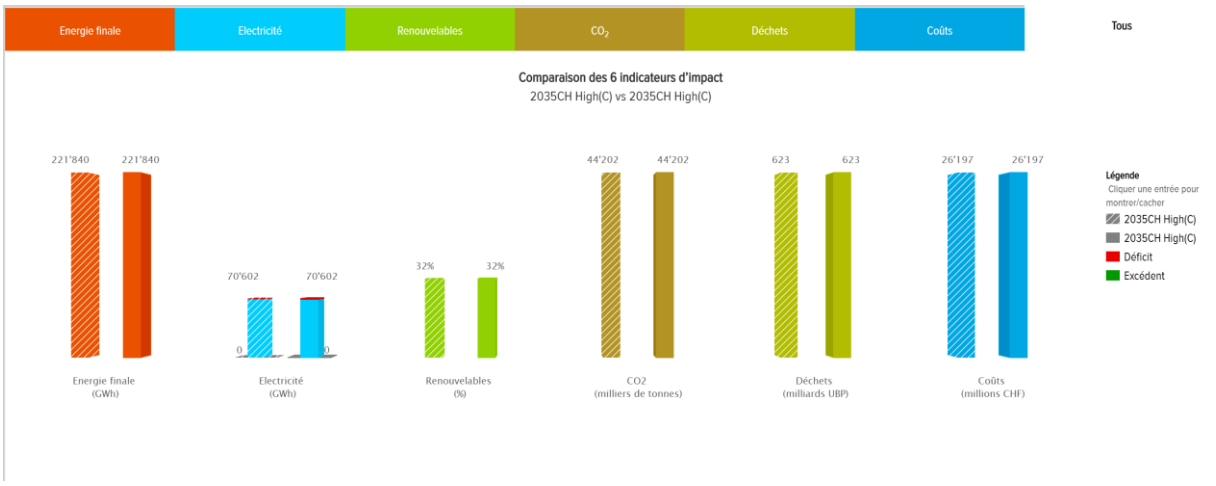


Figure 4 - Comparaisons de scénarios (Centre l'énergie de l'EPFL et IPESE, 2012)

4.3.1.4 Analyse

La première chose à noter sur ce calculateur est sa complexité. Cela sous-entend qu'il permet de faire beaucoup de choses mais requiert une bonne connaissance du sujet. En effet la liste de paramètres modifiables, même dans la version simplifée, est plutôt longue. Pour pallier cela, le calculateur propose des scénarios préféfinis, ce qui permet à n'importe qui de l'utiliser.

Le point faible du calculateur est le suivant : il montre seulement le résultat du scénario pour une année donnée (2035 ou 2050) mais ne permet pas de suivre l'évolution des chiffres sous forme de courbes. Il est n'est donc pas pas vraiment possible de comprendre comment les choses vont se dérouler. (Centre l'énergie de l'EPFL et IPESE, 2012)

4.3.2 Modèle énergétique SCS

Cet outil développé en 2013 par SCS est exclusivement en langue allemande et il est impossible de le trouver en ligne. Cet outil va donc être discuté en se basant sur le document le présentant (en allemand). (Super Computing Systems (SCS), 2013)

L'outil permet de proposer des scénarios composés d'une liste de paramètres tels que la production d'électricité d'origine nucléaire, solaires, géothermique, etc. Ceux-ci sont couplés avec la météo afin de pouvoir calculer la production d'électricité sur une année, un mois ou une semaine.

L'intérêt est de voir à quels moments de la journée ou à quelles saisons de l'année l'électricité vient à manquer et a besoin d'être importée.

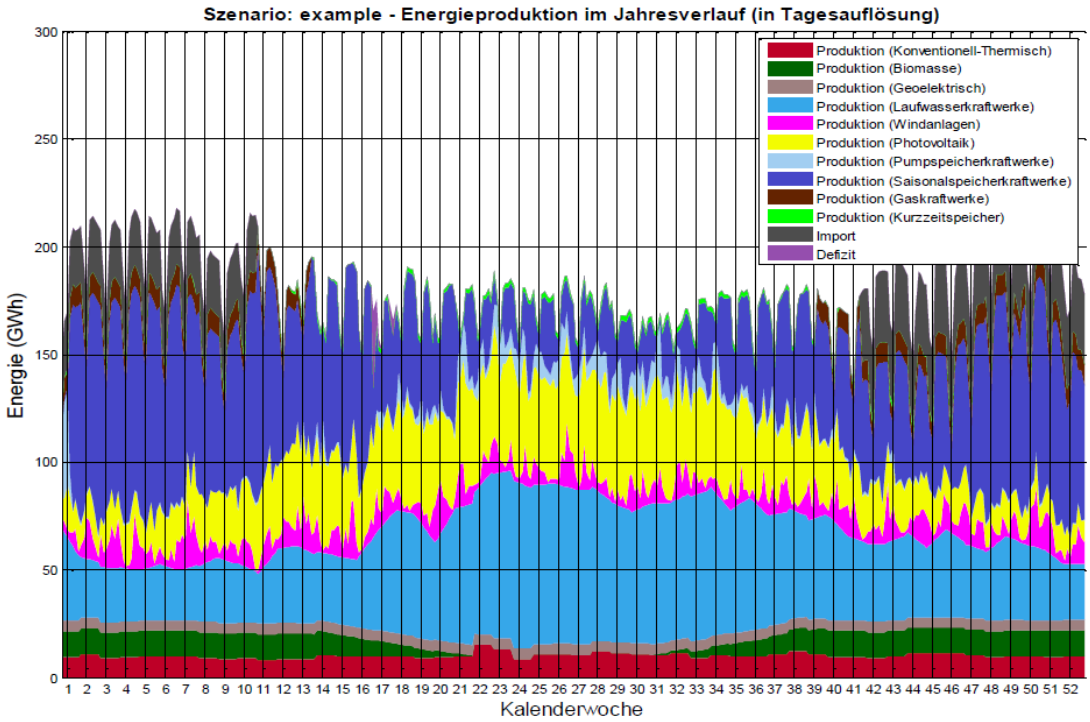


Figure 5 - Production d'énergie au fil de l'année (Super Computing Systems (SCS), 2013)

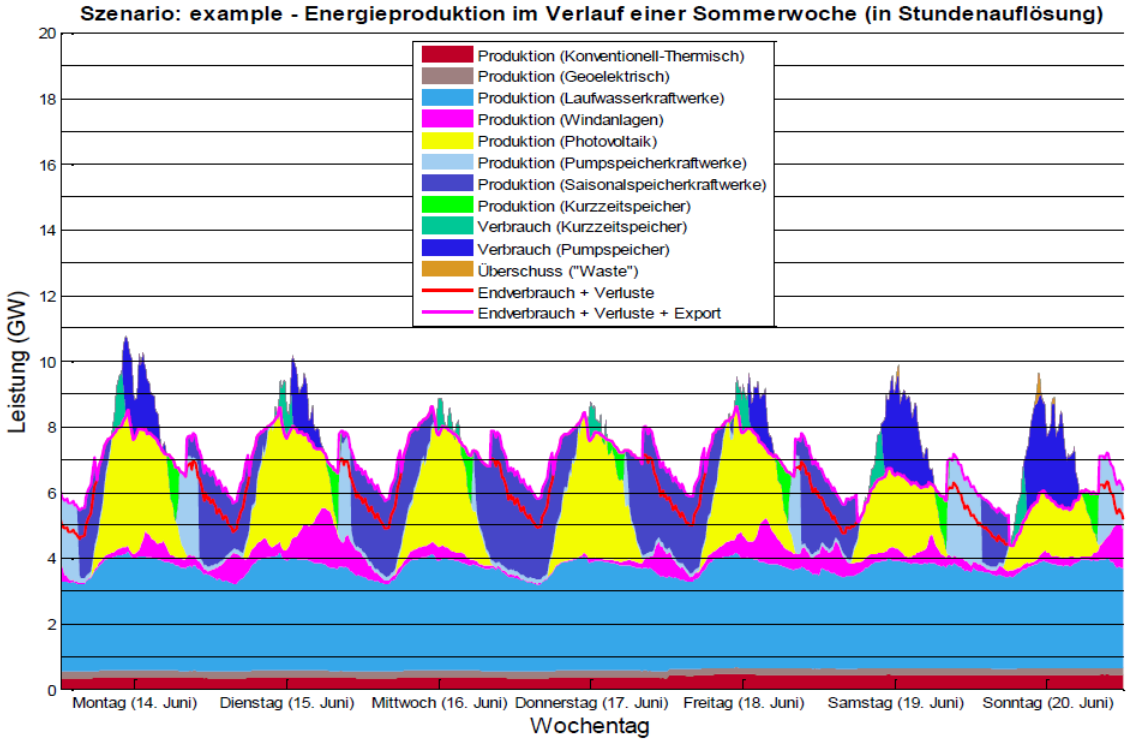


Figure 6 - Production d'énergie au fil d'une semaine d'été (Super Computing Systems (SCS), 2013)

À la différence du calculateur de l'EPFL qui donne seulement un résultat pour une année donnée (2035 ou 2050) ou du calculateur dont il est question dans ce travail qui montre l'évolution au fil des ans, celui-ci ne montre que la production et la consommation d'une année, d'une semaine ou d'une journée type en fonction des paramètres entrés. (Super Computing Systems (SCS), 2013)

L'utilité qu'on peut faire de cet outil est donc différente et elle ne correspond aux besoins exprimés précédemment.

4.4 Analyse des outils, langages, librairies

4.4.1 Choix des librairies JavaScript

Dans ce travail, il va être nécessaire d'utiliser JavaScript ainsi que certaines de ses librairies.

Il en existe une multitude et cette partie va servir à analyser les plus pertinentes et à déterminer lesquelles vont être utilisées.

Il y a plusieurs catégories qui requièrent un choix. Premièrement il va falloir décider quelle librairie utiliser pour dessiner des graphiques. Les candidats sont D3.js et Highcharts.

Deuxièmement, sera-t-il nécessaire d'utiliser une librairie pour les interactions entre le calculateur et l'utilisateur ? Si oui, le choix se fera entre AngularJS et React car ce sont les deux librairies qui semblent les plus indiquées ici. Il faudra presque certainement aussi utiliser JQuery.

Dernièrement, il va falloir analyser la partie CSS ainsi que décider si la page sera responsive design ou pas. Et si oui pour quels types d'appareils.

4.4.2 Graphiques

Le calculateur sera constitué de nombreux graphiques. Pour les implémenter il sera nettement plus facile d'utiliser une librairie faite pour cela. Le gain de temps et d'efficacité sera notable.

Deux librairies ont été proposées. Afin de les départager, elles sont évaluées selon sept critères.

1. Facilité d'utilisation
2. Nombre de lignes de code nécessaires
3. Éventail des possibilités
4. Correspondance avec les besoins du travail
5. Coût
6. Qualité de la documentation
7. License (Open source ou propriétaire)

4.4.2.1 D3.js

Figure 7 - Logo de D3.js (D3js.org, 2015)

D3.js (D3 pour « **D**ata **D**riven **D**ocuments ») est une librairie écrite en JavaScript qui est faite pour visualiser des données stockées dans des documents. Elle est compatible avec tous les navigateurs actuels. (D3js.org, 2015)

Son utilisation est plutôt complexe car elle n'est pas faite expressément pour dessiner des graphiques mais plutôt pour représenter des données de n'importe quelle façon.

Le nombre de lignes de code pour dessiner un graphique est donc élevé. L'utilisation de la librairie est gratuite et open-source. Le site officiel dispose d'une très bonne documentation avec des exemples et des tutoriels.

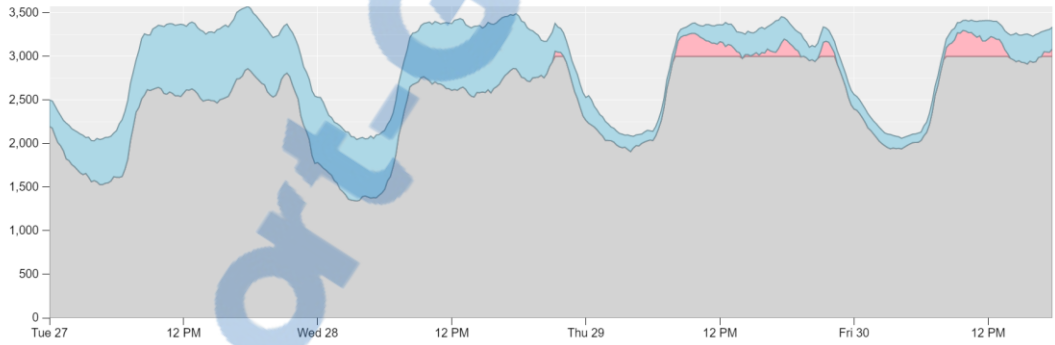


Figure 8 - Exemple de graphique D3.js (D3js.org, 2015)

Rapport-Gratuit.com

4.4.2.2 Highcharts

Figure 9 - Logo de Highcharts (Highcharts.com, 2016)

Highcharts est une librairie de graphiques écrite en JavaScript, Elle permet de dessiner toute sorte de graphiques de manière simple. Elle est compatible avec tous les navigateurs modernes sur tous les appareils. Elle est gratuite et open-source. Elle permet d'afficher des info-bulles sur les axes et sur les courbes, ce qui peut s'avérer très utile. L'exportation des données peut se faire directement en utilisant le plugin correspondant. Les données peuvent aussi être importées depuis une autre source. Le site officiel dispose aussi d'une documentation riche en exemple et aide en tout genre. (Highcharts.com, 2016)

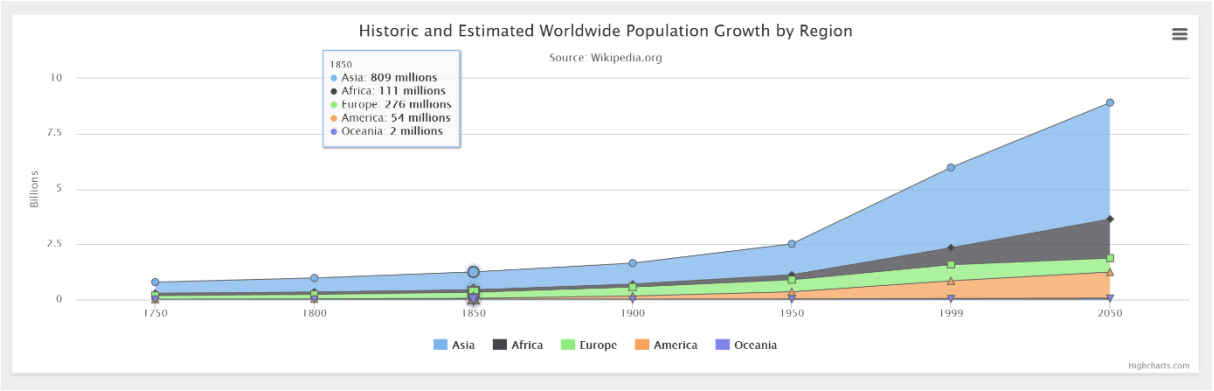


Figure 10 - Exemple de graphique Highcharts (Highcharts.com, 2016)

4.4.2.3 Comparaison

	Highcharts	D3.js
Facilité d'utilisation	+++	+
Lignes de code	+++	++
Possibilités	+	+++
Correspond aux besoins du travail	+++	++
Coût	+++	+++
Total	**10**	**8**

Tableau 2 - Tableau comparatif des librairies de création de graphique (Fallet Guillaume, 2016)

Après réflexion, il a été décidé d'utiliser Highcharts dans ce travail de Bachelor. En effet la prise en main est beaucoup plus rapide et le code est plus court et moins complexe. Malgré cela les possibilités en matière de création de graphiques à proprement parler sont quasi similaires.

D3.js est une librairie permettant la représentation de données de manière plus vaste, comme par exemple des Box Plots, des diagrammes en tout genre, des nuages de mots, etc. Cet énorme choix est donc naturellement accompagné d'une complexité accrue.

Pour résumer, Highcharts est centré sur la création de graphiques (ce qui est précisément ce dont il est question dans ce travail) alors que D3.js est plus étendu.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

4.4.3 Interactivité

Le calculateur se devra de réagir dynamiquement avec les actions de l'utilisateur, pour cela il sera plus aisé d'utiliser une librairie facilitant ces interactions. Pour cela, trois librairies sont à départager à l'aide de ces sept critères :

1. Facilité d'utilisation
2. Nombre de lignes de code nécessaires
3. Éventail des possibilités
4. Correspondance avec les besoins du travail
5. Coût
6. Qualité de la documentation
7. License (Open source ou propriétaire)

4.4.3.1 JQuery

Figure 11 - Logo de jQuery (jQuery.com, 2016)

JQuery est une librairie JavaScript servant en quelque sorte de boîte à outils. Elle propose une multitude de méthodes qui servent à gagner en temps de développement. Elle permet de faire de la manipulation de documents, d'évènements et d'animations de façon simple et rapide. Son utilisation est gratuite et open-source. La documentation fournie sur le site officiel est très bonne et il existe de nombreuses aides non-officielles sur internet. (jQuery.com, 2016)

Il est quasi certain qu'il sera nécessaire d'utiliser JQuery au cours de ce travail.

4.4.3.2 AngularJS

Figure 12 - Logo de AngularJS (angularjs.org, 2016)

AngularJS est une librairie JavaScript gratuite et open-source. (angularjs.org, 2016)

Elle propose une extension du langage HTML. Grâce à AngularJS, beaucoup de code qui doit normalement être écrit en JavaScript peut être remplacé par de nouvelles fonctionnalités à l'intérieur du HTML. Mais il faut d'abord mettre en place la structure MVC requise par AngularJS et ce n'est pas toujours pertinent dans le cas d'une simple page HTML. La plupart de l'interaction entre la page web et l'utilisateur se fait donc directement au niveau du HTML. (tutorialspoint.com, 2016)

La librairie est compliquée à prendre en main mais offre de nombreuses possibilités.

La documentation n'est pas très fournie étant donné que la dernière version d'AngularJS est récente.

4.4.3.3 React

Figure 13 - Logo de React (Facebook, 2016)

React une librairie JavaScript gratuite et open-source.

Elle est utilisée notamment par Facebook. Elle est faite pour implémenter des interfaces utilisateur de façon simple et rapide.

La base du concept est d'écrire en JavaScript le contenu HTML. Ceci permet de rendre plus aisé les mises à jour du DOM (Document Object Model) sur une page web. C'est-à-dire de modifier le contenu de la page HTML. (Facebook, 2016)

Son utilisation requiert un apprentissage. Elle nécessite d'adopter une philosophie bien précise en matière de code. Elle est faite pour des sites complexes et très dynamiques. Un nombre conséquent de lignes de code est donc nécessaire afin d'obtenir un résultat. (Padolsey, 2013)

Bien que React soit une librairie puissante, elle n'est pas adaptée aux besoins de ce travail.

4.4.3.4 Comparaison

Après avoir testé les trois librairies, il semble évident qu'il sera nécessaire d'utiliser JQuery. Cela permet d'économiser un nombre important de lignes de codes ainsi que de gagner du temps. JQuery fournit un grand nombre de « raccourcis » et de méthodes pré-écrites qui seront très utiles pendant ce travail.

La question est maintenant de savoir s'il convient d'utiliser React, AngularJS ou aucun des deux.

	React	AngularJS	JQuery
Adapté aux besoins	+	++	+++
Nombre de possibilités	+++	+++	++
Simplicité	+	+	+++
Lignes de codes	++	+++	++
Total	7	9	10

Tableau 3 - Tableau comparatif des librairies d'interactions (Fallet Guillaume, 2016)

Il est possible d'éliminer React directement car il s'agit d'une librairie qui est faite pour développer des sites web très dynamiques. Or le calculateur dont il est question dans ce travail n'est pas un site web dynamique car il est constitué d'une unique page.

Il reste donc à savoir s'il est utile d'utiliser AngularJS. L'idée semble intéressante car cette librairie a pour philosophie de concentrer un maximum les interactions entre l'utilisateur et le site dans la page HTML.

Après avoir tenté de réaliser une fonctionnalité à l'aide de cette librairie, il s'est avéré que le fait que la librairie soit a priori adaptée est largement balayée par sa grande complexité de mise en place, en effet l'utilisation de AngularJS requiert une structure bien particulière du code HTML/JavaScript et il apparaît que ce n'est finalement pas le plus efficace dans le cas d'un site web encore une fois relativement simple.

4.4.4 CSS

4.4.4.1 Bootstrap

Figure 14 - Logo de Bootstrap (Bootstrap, 2014)

Bootstrap est la librairie HTML/CSS/JavaScript la plus populaire pour développer des pages web responsive-design. C'est une collection d'outils. Elle contient des modèles pour les éléments présents dans les pages HTML. Elle est facile à utiliser et dispose d'un système de grille intuitif. (Bootstrap, 2014)

4.4.4.2 Responsive design

Un site web responsive design et un site web qui s'affiche de manière adaptée pour chaque appareil qui le consulte. L'emplacement et la taille des éléments change automatiquement en fonction de la taille de l'écran qui affiche la page.

La question du responsive design est donc pertinente dans le cas d'un calculateur en ligne. Après discussion, il a été décidé que le calculateur se devait d'être responsive pour les écrans de bureau et ceux de tablettes mais que cela n'était pas utile pour un affichage sur smartphone car, un tel outil n'est pas fait pour être utilisé avec un téléphone.

5. Implémentation

5.1 Méthodologie agile

Pour le développement du calculateur, il est utilisé une méthodologie agile : « SCRUM ». C'est une méthodologie faite pour le développement informatique.

L'idée générale est de découper le projet en plusieurs cycles appelés « sprints ». Un sprint peut durer entre une semaine et un mois, mais dans le cadre de ce travail, chaque sprint dure deux semaines.

L'intérêt d'un tel découpage est de pouvoir réajuster la direction que prend le projet entre chaque sprint. Ainsi si un élément ne convient pas, il est possible de le modifier rapidement.

SCRUM est une méthodologie complète, elle dispose d'un ensemble d'outils et de pratiques à respecter qui font gagner en efficience ainsi qu'en compréhension. Cependant, comme l'équipe de développeurs n'est constituée que d'une seule personne, une version simplifiée de la méthodologie SCRUM est employée.

Dans le cadre de ce projet, trois sprints sont donc réalisés, voici leur date de début et de fin :

- Sprint 1 - Du 06.06.2016 au 17.06.2016.
- Sprint 2 - Du 20.06.2016 au 01.07.2016.
- Sprint 3 - Du 04.07.2016 au 15.07.2016.

5.2 Product Backlog

Le Product Backlog est généralement un fichier Excel regroupant toutes les informations utiles sur le déroulement du projet. La plus essentielle d'entre elles est la liste des fonctionnalités. Chaque fonctionnalité se présente sous la forme suivante : « En tant que …. Je veux pouvoir …. Afin de … ».

5.3 Sprint 1

5.3.1 Fonctionnalités

Les fonctionnalités pour le premier sprint sont les suivantes :

1. *En tant qu'utilisateur je veux voir l'historique de l'évolution de la production et de la consommation d'électricité afin de savoir comment les choses ont évolué jusqu'à maintenant.*
2. *En tant qu'utilisateur je veux voir l'écart entre la production et la consommation afin de savoir s'il faut importer ou exporter de l'électricité.*
3. *En tant qu'utilisateur je veux choisir les dates d'arrêt (et/ou la durée de vie) des centrales nucléaires et voir le résultat sur les graphiques afin de pouvoir simuler des scénarios plus ou moins sécurisés.*

Ces trois fonctionnalités constituent les bases de l'outil. Elles concernent la visualisation des centrales nucléaires et la différence de production qui va en découler.

La première, « Voir l'historique de l'évolution de la production et de la consommation d'électricité afin de savoir comment les choses ont évolué jusqu'à maintenant », est la fonctionnalité principale du calculateur.

Les données utilisées pour l'historique sont écrites en dur dans un fichier de données.

À noter que cette fonctionnalité ne concerne que le passé. On s'intéresse seulement ici à la période 1960 à 2016.

Le tout est affiché sur un graphique (crée à l'aide de Highcharts) afin de permettre une excellente visualisation. Voici la maquette de cette fonctionnalité :

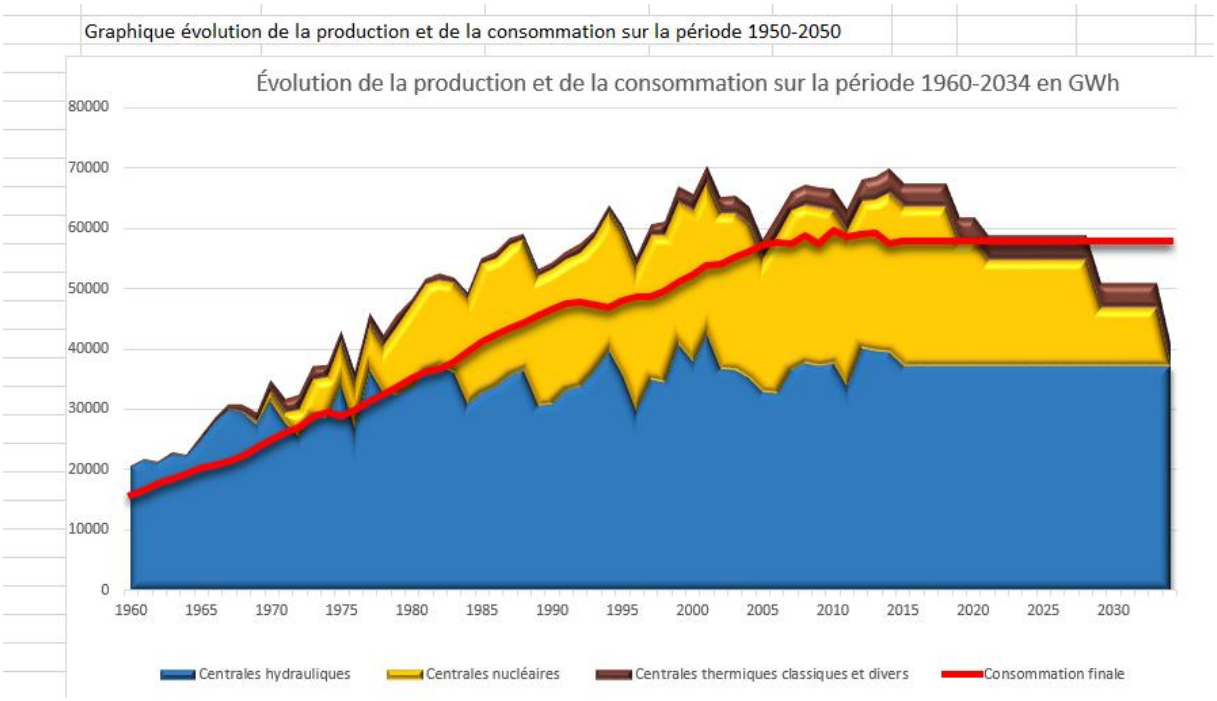


Figure 15 - Maquette du graphique de la production et de la consommation (Zufferey Arnaud, 2016)

La deuxième, « Voir l'écart entre la production et la consommation afin de savoir s'il faut importer ou exporter de l'électricité », est aussi importante.

Elle ne concerne aussi que le passé.

Elle permet de se rendre rapidement compte de si la production est suffisante par rapport à la consommation. Voici la maquette correspondante :

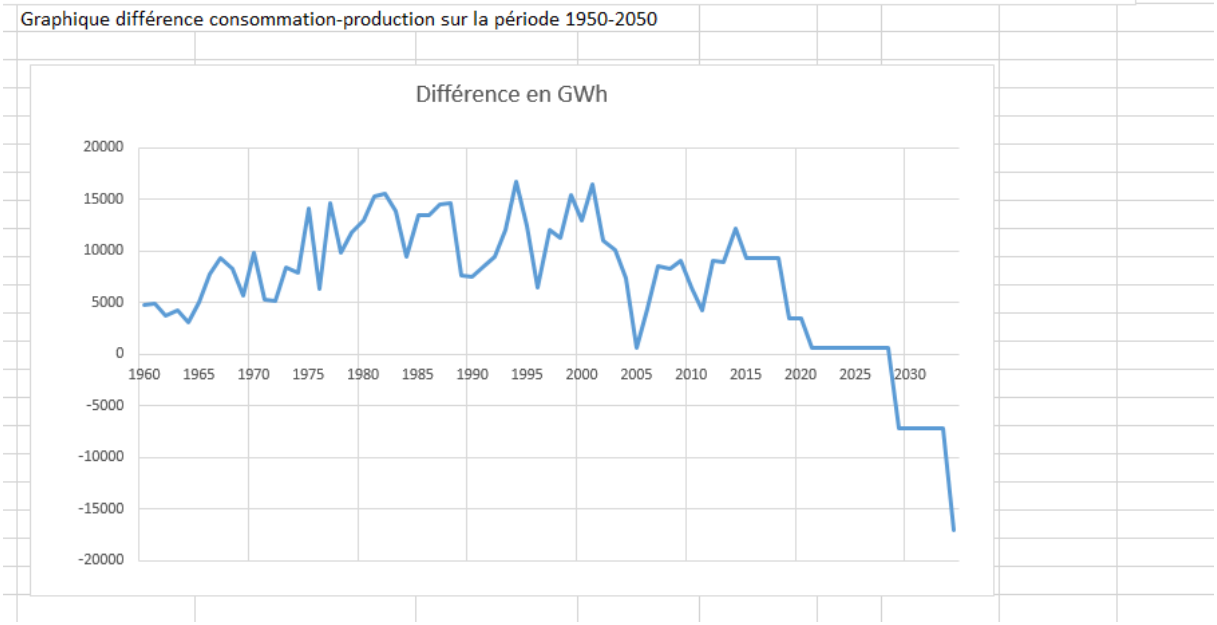


Figure 16 - Maquette du graphique de la différence de production et de consommation (Zufferey Arnaud, 2016)

La troisième, « Choisir les dates d'arrêt (et/ou la durée de vie) des centrales nucléaires et voir le résultat sur les graphiques afin de pouvoir simuler des scénarios plus ou moins sécurisés », est fondamentale car l'objectif du calculateur est de voir comment sortir du nucléaire. Il est donc primordial de pouvoir décider des dates de fermeture et de pouvoir visualiser l'impact que cela a sur la production. Cette fonctionnalité décrit la seule fonctionnalité qui a un impact sur le futur à ce moment du développement.

La maquette en image :

[+/-] Fermeture des centrales nucléaires

Centrale nucléaire	Année de construction	Puissance max.	Durée de vie	Date d'arrêt	%	Production
Beznau 1	1969	365 MW	50 ans	2019	11%	2,893 TWh
Beznau 2	1971	365 MW	50 ans	2021	11%	2,893 TWh
Gösgen	1979	1010 MW	50 ans	2029	30%	7,89 TWh
Leibstadt	1984	1220 MW	50 ans	2034	37%	9,731 TWh
Mühleberg	1972	373 MW	47 ans	2019	11%	2,893 TWh
Total	-	**3'333 MW**	-		**100%**	**26,3 TWh**

Figure 17 - Maquette de la fermeture des centrales nucléaires (Zufferey Arnaud, 2016)

5.3.2 Choix métiers

Il faut effectuer plusieurs choix métiers déjà dès le premier sprint. Les choix métiers sont ceux qui relèvent (dans le cas présent) de la problématique de la production et de la consommation électrique en Suisse.

5.3.2.1 Production et fermeture des centrales nucléaires

Toutes les données concernant les centrales nucléaires actuelle en Suisse sont tirées du site www.kernenergie.ch dans la partie « secteur nucléaire ».

Rapport-Gratuit.com

5.3.2.2 Production d'origine solaire et éolienne

Les données à disposition pour la production d'électricité d'origine solaire et éolienne n'étaient pas complètes. En effet entre l'année 1990 et l'année 2000, seules les années 1990, 1995 et 2000 étaient connues. Il est donc fait le choix d'interpoler linéairement des valeurs entre ces années. Les valeurs proviennent du site de la confédération Suisse http://www.bfs.admin.ch/ dans la section « énergie ».

5.3.2.3 Limiter les entrées de l'utilisateur pour la fermeture des centrales

L'outil doit laisser le choix à l'utilisateur de pouvoir décider de la date de fermeture des centrales nucléaires. Bien qu'une centrale nucléaire ait en général environ 50 ans de durée de vie, si l'utilisateur souhaite visualiser un scénario dans lequel une centrale dure seulement 30 ans ou au contraire dure 65 ans, cela doit être possible. Cependant il semble évident qu'une centrale nucléaire ne peut pas durer 150 ans et encore plus évident qu'elle ne peut pas s'arrêter avant l'année en cours, ce serait un conflit logique avec la réalité.

Il est donc décidé de borner inférieurement la durée de vie de façon à ce qu'une centrale puisse être fermée l'année en cours (mais pas avant) et supérieurement de façon à ce que la centrale dispose d'une durée de vie de 100 ans.

5.3.3 Choix techniques

Les choix techniques sont, quant à eux, les choix qui relèvent de la programmation à proprement parler.

Ce sprint étant le premier, il faut mettre en place une architecture et donc nécessairement faire plusieurs choix techniques.

5.3.3.1 Organisation de la structure du projet

Suivant les conseils d'Arnaud Zufferey, le projet est structuré de la façon suivante :

- index.html
- /documents/data.js
- /scripts/third-party/jquery.js
- /images/photo.jpg
- /styles/third-party/bootstrap.js

Il y a donc à la racine la page html principale puis quatre dossiers (documents, scripts, images et styles). Dans le dossier script sont contenus tous les fichiers JavaScript écrits dans ce travail mais aussi un dossier (third-party) qui contient tous les scripts des librairies utilisées (dans ce cas il s'agit de JQuery et Highcharts). Il en va de même pour le dossier styles, qui contient aussi un dossier third-party (utilisé pour déposer Bootstrap).

5.3.3.2 Organisation de la partie logique (JavaScript)

Il est décidé de séparer en plusieurs fichier JavaScript les méthodes qui relèvent des différentes fonctionnalités (un pour la production, un pour la consommation, un pour les centrales nucléaires, etc.). Même si toutes ces choses sont liées, il été aisé de les faire communiquer via des fonctions et des variables globales.

5.3.3.3 Structuration des données

La question de la structuration des données se pose rapidement car un certain de nombre de données sont écrites en dur et ne peuvent pas être modifiées (celles qui concernent le passé notamment) et d'autres doivent être modifiables mais doivent quand même proposer des valeurs par défaut (fermeture des centrales nucléaires par exemple).

Il est donc décidé de créer des fichiers dédiés exclusivement aux données brutes et ils sont stockés dans le dossier « documents ».

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Pour le reste, l'ensemble des données est stocké pendant l'exécution sous forme de tableaux globaux. Les données concernant les centrales nucléaires constituent la seule exception. Celles-ci sont simplement stockées « virtuellement » par le contenu des entrées de l'utilisateur dans le HTML.

5.3.4 Rétrospective de sprint

Le sprint a été couronné de succès et toutes les fonctionnalités ont été réalisées dans les temps. Il a cependant été nécessaire de changer un certain nombre de choses par la suite dans l'apparence ainsi que dans le code afin d'obtenir un résultat optimal. Parmi ces changements, on peut citer les plus importants qui sont :

- Changement dans le comportement du calculateur quand l'utilisateur entre une donnée non valide.
- Changement dans la façon de stocker les données (fusion de plusieurs tableaux en un seul tableau multidimensionnel).

Voici des images du résultat de ce premier sprint.

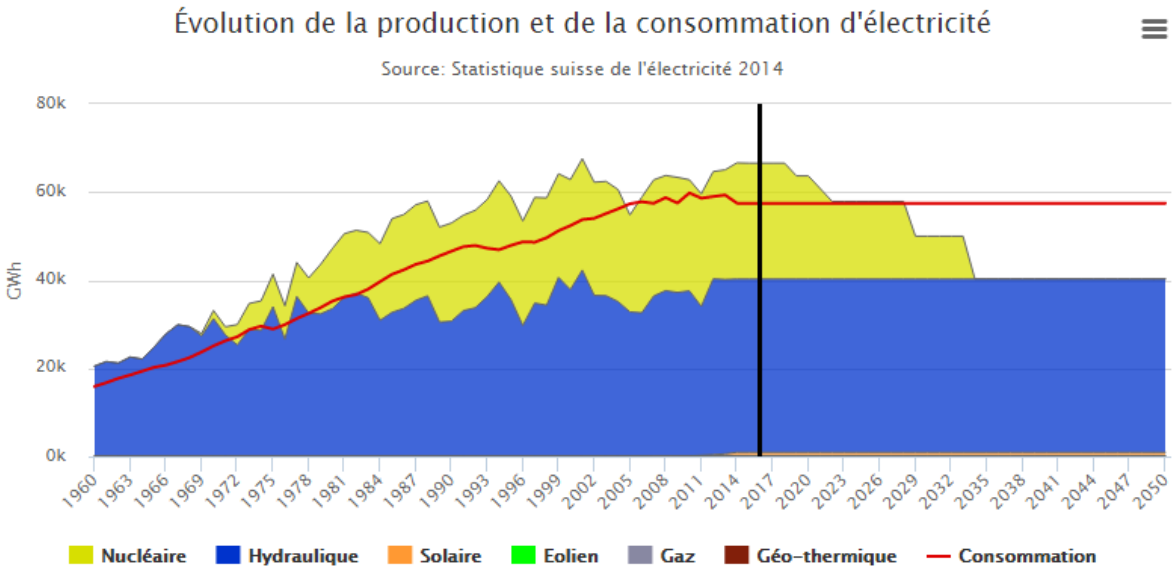


Figure 18 - Résultat du graphique de la production et de la consommation (Fallet Guillaume, 2016)

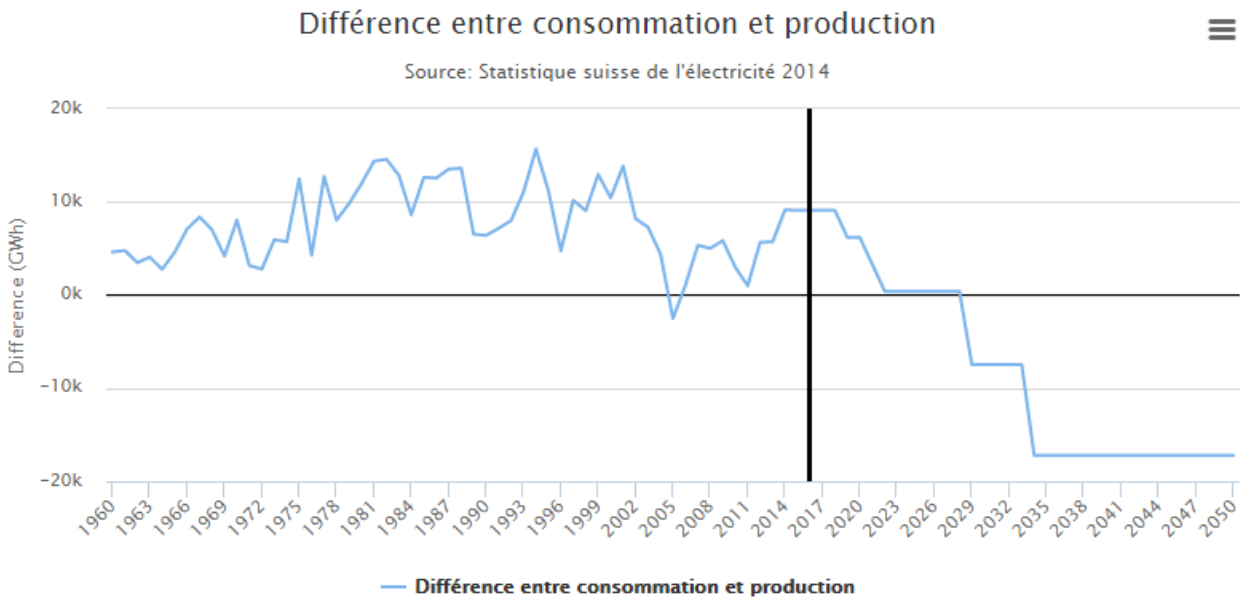


Figure 19 - Résultat du graphique de la différence de production et de consommation (Fallet Guillaume, 2016)

[+/-] Fermeture des centrales nucléaires

Centrale nucléaire	Année de construction	Puissance max. (MW)	Durée de vie	Date d'arrêt	%	Production par année (GWh)
Beznau 1	1969	365	50 années	2019	11	2893
Beznau 2	1971	365	50 années	2021	11	2893
Gösgen	1979	1010	50 années	2029	30	7890
Leibstadt	1984	1220	50 années	2034	37	9731
Mühleberg	1972	373	50 années	2022	11	2893

Figure 20 - Résultat de la fermeture des centrales nucléaires (Fallet Guillaume, 2016)

5.4 Sprint 2

5.4.1 Fonctionnalités

Les fonctionnalités pour ce sprint étaient les suivantes :

1. *En tant qu'utilisateur je veux définir le taux de progression (indice) de la consommation future d'énergie et de la production et voir le résultat sur le graphique afin de connaître l'impact de telle ou telle hypothèse.*
2. *En tant qu'utilisateur je veux saisir les prix et les taux de progression des prix et voir l'évolution sur le graphique afin de prévoir le prix de l'électricité dans le futur.*
3. *En tant qu'utilisateur je veux choisir la date, le type et la puissance des nouvelles centrales afin de savoir dans quelle mesure il sera possible de compenser le nucléaire.*
4. *En tant qu'utilisateur je veux voir la courbe de résultat en CHF, ct./kWh, CO2, CO2/kWh afin de connaître les résultats des paramètres entrés sous forme graphique.*
5. *En tant qu'utilisateur je veux être alerté si les inputs sont irréalistes afin de faire des calculs plausibles.*
6. *En tant qu'utilisateur je veux voir les indicateurs correspondants à mon mix énergétique afin de connaître les résultats des paramètres entrés sous forme numérique.*

Elles sont au nombre de six pour trois raisons principales. La première est que le temps nécessaire pour intégrer les fonctionnalités du premier sprint a été légèrement surestimé et donc pour pouvoir atteindre un rythme de travail soutenu, il est décidé d'en accomplir plus pendant le deuxième sprint. La deuxième raison est que les fonctionnalités du deuxième sprint sont moins conséquentes en termes de temps de développement estimé. Troisièmement, l'architecture et le cadre de travail sont connus, le langage est maitrisé et donc le développement ne peut être que plus rapide.

Si le premier sprint était orienté vers la mise en place des fonctionnalités permettant de visualiser le passé, le deuxième sprint, quant à lui, est tourné vers la représentation du futur en se servant des données entrées par l'utilisateur.

Voici donc la description de ces six fonctionnalités ainsi que leur maquette respective.

La première, « Définir le taux de progression (indice) de la consommation future d'énergie et de la production et voir le résultat sur le graphique afin de connaître l'impact de telle ou telle hypothèse », concerne la possibilité de définir la courbe de progression de la consommation et des différentes productions.

Cette fonctionnalité est l'étape logique suivant les fonctionnalités du premier sprint « Voir l'historique de l'évolution de la production et de la consommation d'électricité » et « Voir l'écart entre la production et la consommation ». En effet ces deux fonctionnalités représentaient le passé, et celle-ci prolonge la visualisation jusqu'en 2050.

Voici sa maquette :

[+/-] Taux de progression de la production	(hors grandes centrales)	
		Objectif 2050 :
Hydraulique (accumulation)	1,5%	+ 2 TWh
Hydraulique au fil de l'eau	0,5%	+ 1 TWh
Solaire	7,0%	+ 12 TWh
Eolien	5,0%	+ 3 TWh
Géothermie	1,0%	+ 0.5 TWh
[+/-] Taux de progression de la consommation		
		Objectif 2050
Taux de progression de la consommation :	1,50%	-8 TWh

Figure 21 - Maquette de la progression de la production et de la consommation (Zufferey Arnaud, 2016)

La deuxième fonctionnalité est « Saisir les prix (CHF/MWh) et les taux de progression des prix et voir l'évolution sur le graphique afin de prévoir le prix de l'électricité dans le futur »

Cette fonctionnalité a pour but de permettre à l'utilisateur de choisir le prix de chaque énergie (actuel), de décider comment ce prix va évoluer. La maquette est la suivante :

[+/-] Prix kWh					
					Taux de progression des prix
	Nucléaire		5	ct./kWh	2,00%
	Centrale à gaz		6	ct./kWh	1,50%
	Hydroélectricité		6	ct./kWh	0,00%
	Eolien		7,5	ct./kWh	-2,00%
	Solaire		9	ct./kWh	-5,00%
	Géothermie	?		ct./kWh	-5,00%
	Importations		7	ct./kWh	-5,00%

Figure 22 - Maquette d'évolution de prix (Zufferey Arnaud, 2016)

La troisième fonctionnalité est « Choisir la date, le type et la puissance des nouvelles centrales (nucléaire, thermique, solaire …) afin de pouvoir trouver une alternative aux anciennes centrales sur le moyen terme ».

Celle-ci permet de créer la fonctionnalité qui consiste à laisser l'utilisateur créer de nouvelles centrales afin de permettre d'assurer la transition énergétique.

L'utilisateur peut choisir le type de la nouvelle centrale, son année de mise en service, sa durée, sa puissance et son nombre d'heure de fonctionnement par année. L'énergie produite par ces nouvelles centrales est automatiquement reportée sur les graphiques adéquats.

Voici la maquette de cette fonctionnalité :

[+/-] Construction de nouvelles grandes centrales

Type	Date de mise en service	Puissance	Heures de fonctionnement	Durée de vie
Nucléaire [v]	2031	1000 MW	7 000	45
Centrale à gaz [v]	2025	400 MW	4 000	20
		[+]		

Figure 23 - Maquette de la construction de nouvelles centrales (Zufferey Arnaud, 2016)

La quatrième fonctionnalité de ce deuxième sprint est la suivante : « Voir la courbe de résultat en CHF, ct. /kWh, CO2, CO2/kWh afin de connaître les résultats des paramètres entrés sous forme graphique ».

Elle est en lien direct avec la deuxième fonctionnalité du sprint car elle utilise les paramètres entrés par l'utilisateur afin d'afficher un graphique décrivant le prix et les émissions de CO_2. Le but est de faire de la moyenne pondérée pour chaque année en fonction du mix électrique choisi et des prix choisis par l'utilisateur. Aucune maquette n'a été réalisée pour cette fonctionnalité pour cause de manque d'informations au moment de l'analyse mais il s'agit ni plus d'un moins de deux graphiques dont l'axe en X est le temps en années et l'axe Y est respectivement le prix de l'électricité en ct. /kWh et les émissions de CO_2 en g de CO_2/kWh.

Il est important de préciser que pour toutes les années où la production est inférieure à la consommation, le prix doit être calculé en prenant en compte le prix de l'importation pour combler la différence.

La cinquième fonctionnalité, « Être alerté si les inputs sont irréalistes afin de faire des calculs plausibles », consiste à afficher une réaction qui indique à l'utilisateur que la donnée entrée n'est pas valide. Un exemple concret est si l'utilisateur entre une date antérieure à l'année en cours pour la fermeture d'une centrale nucléaire qui est actuellement ouverte ou s'il entre une valeur plus grande que 8760 (nombre d'heures dans une année) pour le nombre d'heure de fonctionnement par année d'une centrale.

La sixième et dernière fonctionnalité de ce sprint est « Voir les indicateurs correspondants à mon mix énergétique afin de connaître les résultats des paramètres entrés sous forme numérique ». Elle a comme objectif d'afficher des résultats sous forme d'un tableau à l'utilisateur. Les résultats affichés sont les suivants :

- Prix minimum de l'électricité d'ici à 2050.
- Prix maximum de l'électricité d'ici à 2050.
- Prix moyen de l'électricité d'ici à 2050.
- Émissions minimums de CO2 venant de la production d'électricité d'ici à 2050.
- Émissions maximums de CO2 venant de la production d'électricité d'ici à 2050.
- Émissions moyennes de CO2 venant de la production d'électricité d'ici à 2050.

5.4.2 Choix métiers

Un grand nombre de choix de métiers sont faits dans ce deuxième sprint.

5.4.2.1 Progression linéaire ou exponentielle

L'utilisateur est chargé d'entrer un pourcentage pour l'évolution supposée de la consommation en électricité, celle de la production des différentes électricités ainsi que pour leur prix.

La question soulevée ici est la suivante : faut-il appliquer ce pourcentage de façon linéaire ou de façon exponentielle. Chaque méthode a ses défauts comme ses avantages. De façon linéaire cela est bien plus simple et prévisible alors qu'une augmentation exponentielle est plus naturelle.

Après réflexion et discussion, il est décidé que la méthode linéaire est utilisée pour l'évolution de la consommation. La méthode exponentielle est utilisée pour l'évolution des prix, car en cas de baisse la valeur n'atteindra jamais zéro. Pour l'évolution des productions des différentes électricités, la possibilité d'entrer un pourcentage est supprimé et il reste simplement un curseur permettant de définir un objectif pour 2050. Cela a l'avantage d'être plus visuel et intuitif tout en permettant de borner l'entrée très facilement.

5.4.2.2 Types de centrales

L'utilisateur a la possibilité de créer des nouvelles centrales afin de combler le manque laissé par la fermeture des actuelles centrales nucléaires. Mais quel type de centrales doit-il pouvoir avoir le choix de créer ? C'est une des questions métier soulevée lors du sprint. Après discussion avec M. Zufferey il est décidé de pouvoir laisser le choix entre une centrale nucléaire ou une centrale à gaz.

5.4.2.3 Valeurs par défaut

Quand l'utilisateur arrive sur la page du calculateur, des valeurs par défaut doivent être présentes. La question est de savoir lesquelles.

Pour la création de nouvelles centrales, les valeurs par défaut ont été choisies de la façon suivante. Une centrale nucléaire met environ sept ans à être construite, possède une puissance moyenne de 1'000 MW, est en service environ 7'000 par an et a 50 ans de durée de vie.

Une centrale à gaz met environ trois ans à être construite, possède une puissance moyenne de 400 MW, travaille 4'000 heures par an et est démontée au bout de 20 ans.

Les valeurs par défaut pour l'évolution de la consommation, de la production et des prix sont mises à zéro.

Les prix par défaut sont trouvés sur le site de l'AES. (Association des entreprises électriques suisses (AES), 2015)

5.4.2.4 Bornes

Les bornes utilisées pour l'évolution des productions électriques sont discutées avec M. Zufferey et M. Jacquod. Elles sont les suivantes :

- Hydraulique : 0 à 3 TWh supplémentaires (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2012)
- Solaire : 0 à 24 TWh supplémentaires (Centre de l'énergie de l'EPFL, 2016)
- Éolien : 0 à 4 TWh supplémentaires (Office fédéral de l'énergie (OFEN), 2016)
- Géothermique : 0 à 5 TWh supplémentaires (Scott Capper, 2013)

Rapport-Gratuit.com

5.4.2.5 Unités de mesure

Faut-il afficher le prix de l'électricité en CHF / MWh ou en ct. /kWh ? Ce point aussi est discuté et la conclusion qui en sort est qu'il est préférable d'utiliser les cts. /kWh car c'est ce qui est utilisé sur les factures d'électricité et c'est donc plus parlant à un utilisateur standard.

5.4.3 Choix techniques

5.4.3.1 Tableau des nouvelles centrales

Le tableau listant les nouvelles centrales est au départ vide. L'utilisateur doit cliquer sur un bouton pour créer une nouvelle centrale et ensuite choisir son type. La question technique est la suivante : comment créer une nouvelle ligne d'un tableau pré-formatée ? La solution trouvée a été proposée par M. Zufferey. Elle consiste à créer une ligne de référence qui est par défaut cachée. Quand l'utilisateur appuie sur le bouton de création, cette ligne est clonée, remplie puis affichée.

Cette technique ingénieuse a permis de faire gagner beaucoup de temps de développement.

5.4.3.2 Calcul du mix électrique

Le mix électrique doit en permanence être calculé. Celui est modifié chaque fois que le moindre changement au niveau de la production est effectué. Le mix électrique n'est rien d'autre que la proportion de chaque type d'électricité qui est produite pour chaque année.

Celui est indispensable pour pouvoir ensuite calculer le prix et les émissions de CO_2.

La création d'une nouvelle variable globale de type tableau en deux dimensions est donc nécessaire. Elle permet d'avoir accès pour chaque année au pourcentage de chaque électricité produite. Et donc cela offre la possibilité de calculer la moyenne pondérée du prix et des émissions de CO_2.

5.4.3.3 Alerte en cas de mauvaise entrée

La façon d'alerter l'utilisateur quand il entre une valeur insensée est l'objet d'une discussion avec M. Zufferey. Au terme de celle-ci, la décision est prise de changer temporairement la couleur de fond du champ en question (pendant environ trois secondes) en rouge. Dans le même temps, la valeur la plus proche acceptable est automatiquement saisie.

5.4.4 Rétrospective de sprint

Ce deuxième sprint s'est vu accompagné d'une complexité largement supérieure au premier. En effet l'arrivée de nombreux calculs mathématiques couplés à un grand nombre de paramètres et de variables a parfois rendu l'écriture du code plus laborieuse.

Toutes les fonctionnalités ont cependant été réalisées même si quelques corrections doivent être faites dessus. Parmi ces corrections on peut citer :

- La possibilité de choisir entre des g de CO_2/kWh ou des tonnes de CO_2 dans les émissions de CO_2.
- Le calcul du prix en tenant compte des importations si la production est inférieure à la consommation.
- Un bug présent au moment de l'ajout d'une centrale à gaz qui empêchait le graphique de se mettre à jour.
- Le changement de disposition des tableaux contenant les indicateurs numériques.
- La possibilité de choisir entre des cts. /kWh ou des millions de francs dans l'évolution du prix.

Voici les captures d'écrans correspondant aux fonctionnalités effectuées pendant ce sprint.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

[+/-] Taux de progression de la production

Type	Objectif 2050
Hydraulique	TWh 4
Solaire	TWh 24
Eolien	TWh 4
Géothermie	TWh 5

Figure 24 - Résultat de la progression de la production (Fallet Guillaume, 2016)

[+/-] Taux de progression de la consommation

Taux de progression de la consommation	0 %	0 TWh

Figure 25 - Résultat de la progression de consommation (Fallet Guillaume, 2016)

[+/-] Prix

Type	Prix	Progression
Nucléaire	5 ct./kWh	0 %
Hydroélectricité	6 ct./kWh	0 %
Solaire	9 ct./kWh	0 %
Eolien	7,5 ct./kWh	0 %
Centrale à gaz	6 ct./kWh	0 %
Géo-thermie	10 ct./kWh	0 %
Importations	7 ct./kWh	0 %

Figure 26 - Résultat de l'évolution du prix (Fallet Guillaume, 2016)

[+/-] Construction de nouvelles grandes centrales

Nouvelle centrale

Type	Date de mise en service	Durée de vie	Puissance (MW)	Heures de fonctionnement par année	
Centrale nucléaire	2023	50	1000	7000	Effacer
Centrale à gaz	2019	20	400	4000	Effacer

Figure 27 - Résultat de la construction de nouvelles centrales (Fallet Guillaume, 2016)

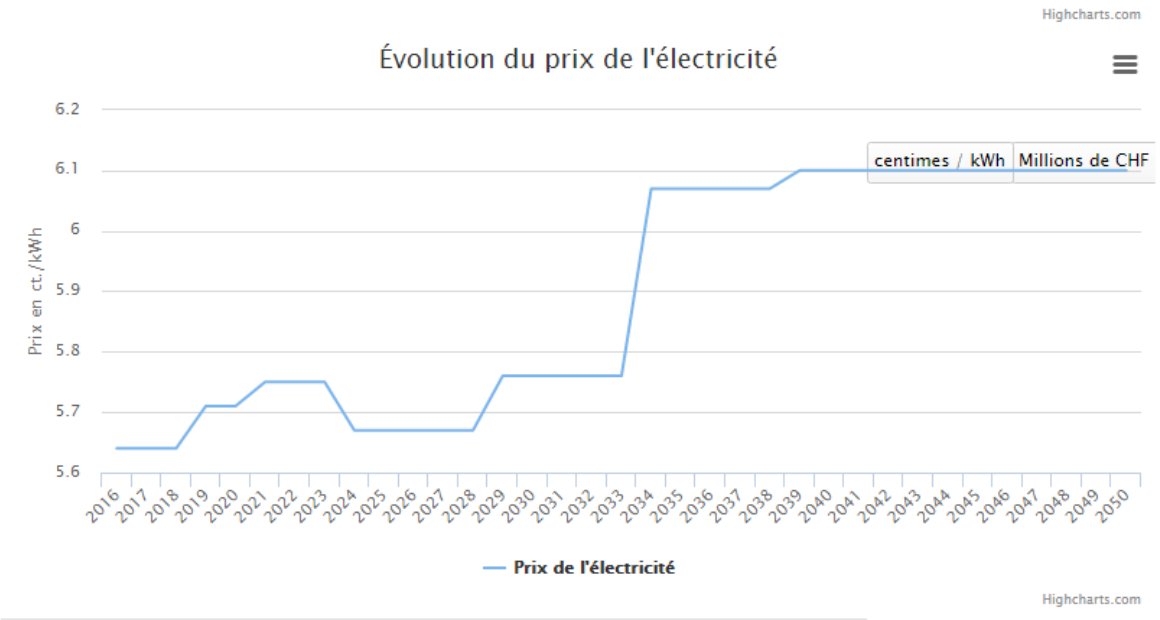


Figure 28 - Résultat du graphique de l'évolution du prix (Fallet Guillaume, 2016)

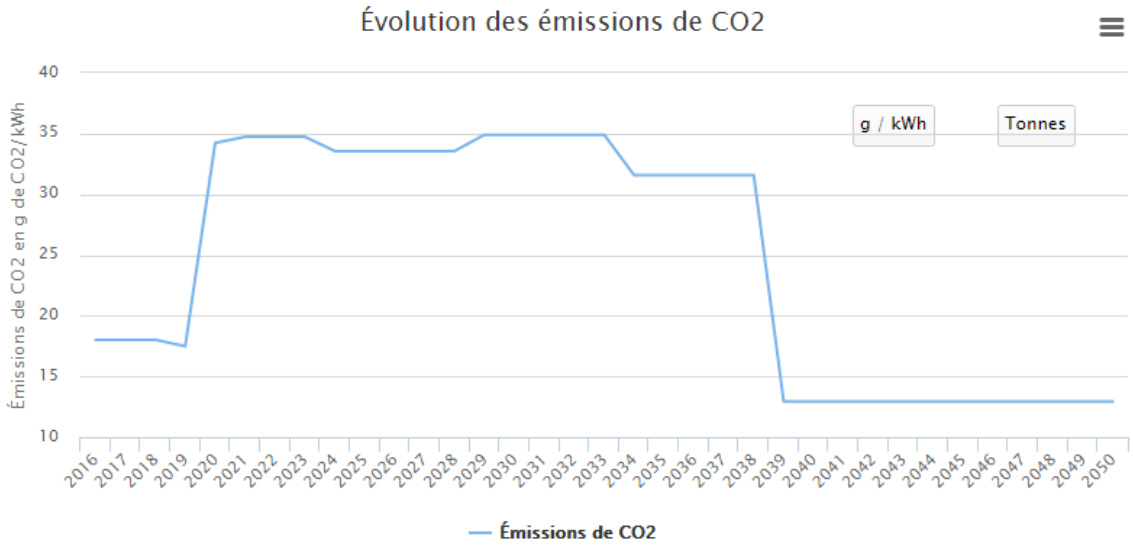


Figure 29 - Résultat du graphique de l'évolution des émissions de CO_2 (Fallet Guillaume, 2016)

[+/-] Fermeture des centrales nucléaires

Centrale nucléaire	Année de construction	Puissance max. (MW)	Durée de vie	Date d'arrêt	%	Production par année (GWh)
Beznau 1	1969	365	47 années	2016	11	2893

Figure 30 - Résultat de l'erreur lors d'une mauvaise entrée de l'utilisateur (Fallet Guillaume, 2016)

Prix de l'électricité minimum (en ct./kWh)	5.67 (année : 2016)
Prix de l'électricité maximum (en ct./kWh)	6.1 (année : 2039)
Prix de l'électricité moyen (en ct./kWh)	5.9

Figure 31 - Résultat des indicateurs concernant le prix (Fallet Guillaume, 2016)

Émissions de CO2 minimum (en g de CO2/kWh)	12.93 (année : 2039)
Émissions de CO2 maximum (en g de CO2/kWh)	34.9 (année : 2029)
Émissions de CO2 moyennes (en g de CO2/kWh)	24.7

Figure 32 - Résultat des indicateurs concernant les émissions de CO_2 (Fallet Guillaume, 2016)

5.5 Sprint 3

5.5.1 Fonctionnalités

Les fonctionnalités pour ce sprint étaient les suivantes :

1. *En tant qu'utilisateur je veux pouvoir charger des scénarios préétablis (AES, Greenpeace, OFEN) afin de connaître les hypothèses faites par des autres organisations sans avoir à les rentrer manuellement.*
2. *En tant qu'utilisateur je veux pouvoir exporter les résultats sous forme de fichiers Excel (CSV) afin de pouvoir les utiliser ailleurs.*
3. *En tant qu'utilisateur je veux pouvoir imprimer les résultats afin pouvoir les réutiliser ailleurs*
4. *En tant qu'utilisateur je veux pouvoir choisir entre des cts. / kWh ou des millions de CHF pour le graphique du prix et des g de CO2 / kWh ou des tonnes de CO2 pour le graphique de la pollution afin de visualiser l'impact économique et environnemental du scénario envisagé sous plusieurs angles différents.*

Ce dernier sprint comprend moins de fonctionnalités que le deuxième et voici les raisons.

De nombreuses petites corrections doivent être faites sur l'ensemble des fonctionnalités déjà implémentées à ce stade.

Le développement touchant à se fin, il faut se concentrer sur la finalisation du calculateur dans son ensemble, cela implique de faire plusieurs choses qui ne sont pas listées dans les fonctionnalités mais qui prennent néanmoins du temps. On peut citer parmi les plus importantes :

- Produire une documentation pour l'utilisation de l'outil. Cela comprend un guide et la source complète des données utilisées.
- Apporter une touche esthétique à l'outil (CSS).
- Diverses corrections dans le code (commentaires, organisation générale).
- Hébergement du calculateur sur un site qui propose un tel service.

Voici donc le détail des fonctionnalités réalisées.

La première, « Charger des scénarios préétablis (AES, Greenpeace, OFEN) afin de connaître les hypothèses faites par des autres organisations sans avoir à les rentrer manuellement », concerne la possibilité de pouvoir utiliser l'outil sans forcément avoir de connaissances sur la question. Cette fonctionnalité se présente sous la forme de deux menus déroulants situés en haut de la page. Un proposant des scénarios de production, l'autre des scénarios de consommation. Aucune maquette n'a été réalisée pour cette fonctionnalité.

La deuxième, « Pouvoir exporter les résultats sous forme de fichiers Excel (CSV) afin de pouvoir les utiliser ailleurs », est importante car elle doit pouvoir permettre d'utiliser les données produites par le calculateur ailleurs. Aucune maquette n'a été réalisée.

La troisième fonctionnalité, « Imprimer les résultats afin pouvoir les réutiliser ailleurs », est en lien directe avec la précédente. La différence est que celle-ci propose d'exporter les graphiques (et non pas les données) sous forme d'images.

La dernière fonctionnalité de ce dernier sprint est la suivante : « Pouvoir choisir entre des cts. / kWh ou des millions de CHF pour le graphique du prix et des g de CO2 / kWh ou des tonnes de CO2 pour le graphique de la pollution afin de visualiser l'impact économique et environnemental du scénario envisagé sous plusieurs angles différents ».

Il s'agit d'une fonctionnalité ajoutée après discussion avec M. Zufferey et M. Jacquod pendant la planification du sprint. Aucune maquette n'a été réalisée, mais il a été décidé qu'elle devrait être implémentée sous la forme d'un petit menu déroulant à côté du graphique de prix et de celui des émissions de CO_2.

5.5.2 Choix métiers

5.5.2.1 Scénarios de production préétablis.

La question de savoir quels sont les scénarios de production qui sont proposés à l'utilisateur se pose naturellement.

Il est décidé d'utiliser un scénario de l'OFEN et un de l'AES (tous les deux sont évoqués dans la partie analyse de ce travail). Ajouté à cela un scénario de Greenpeace trouvé sur leur site officiel.

5.5.2.2 Scénarios de consommation préétablis.

La même question se pose mais cette fois-ci pour la consommation. Il est décidé de proposer trois scénarios arbitraires qui sont les suivants :

- Consommation en légère hausse (0.3% par année)
- Consommation stable
- Consommation en légère baisse (-0.3% par année)

5.5.3 Choix techniques

5.5.3.1 Méthode de stockage des scénarios.

Pour régler le problème du stockage des données des scénarios proposés. Il est décidé de créer un fichier de données prévu à cet effet. De cette façon, il est aisé d'ajouter, de modifier ou de supprimer des scénarios.

Une méthode boucle ensuite sur l'ensemble des scénarios contenus dans le fichier afin de créer le menu déroulant.

5.5.3.2 Export des données.

Même si au départ il était prévu d'exporter les données directement en faisant télécharger un fichier Excel à l'utilisateur, une fois face à au développement de cette fonctionnalité, force est de constater que cela est plus facile à dire qu'à faire. Cela nécessite une librairie supplémentaire à intégrer au développement. Finalement la solution est directement proposée par M. Zufferey et consiste à créer un champ de texte, le remplir à l'aide des données puis de proposer à l'utilisateur de copier ces données dans le presse-papier.

5.5.3.3 Export des graphiques sous forme d'images.

Cette fonctionnalité a été très facilement implémentée grâce à une extension de la librairie « Highcharts ».

5.5.3.4 Changements d'unités sur les graphiques du prix et des émissions de CO2

La première tentative d'implémentation consiste à donner un autre tableau de valeurs au graphique créé avec « Highcharts », cela entraîne une série de complications liés à des problèmes de références d'objets.

Afin de les résoudre, la décision est prise de simplement créer un graphique pour chaque unité et simplement afficher celui qui est désiré par l'utilisateur et cacher l'autre.

5.5.4 Rétrospective de sprint

Toutes les fonctionnalités sont implémentées et sont fonctionnelles. Ce sprint se termine bien avant la fin du temps qui lui est dévolu. Ceci est normal afin de laisser le temps de régler les autres éléments cités dans la description du sprint.

Voici des captures d'écrans des fonctionnalités.

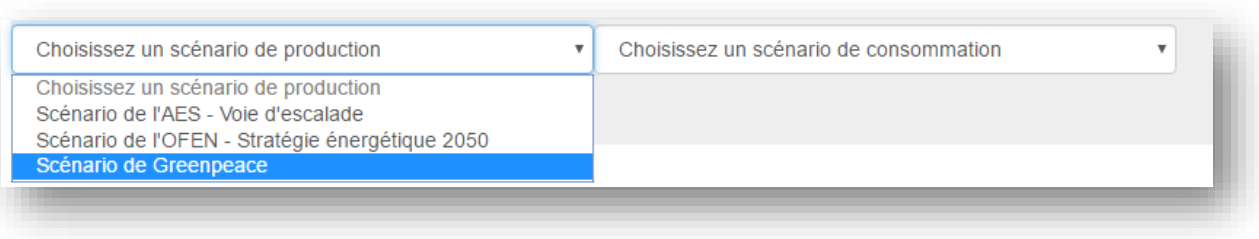


Figure 33 - Résultat de la sélection de scénarios (Fallet Guillaume, 2016)

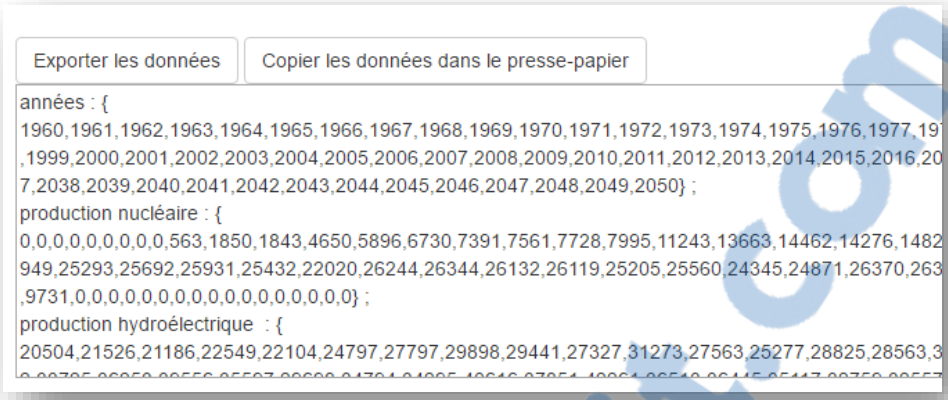


Figure 34 - Résultat de l'exportation des données sous forme de tableaux (Fallet Guillaume, 2016)

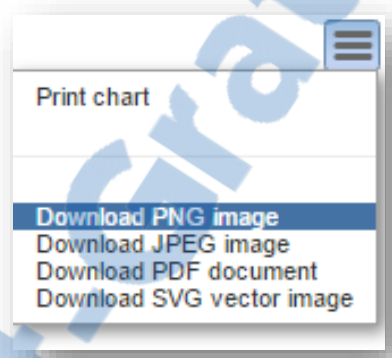


Figure 35 - Résultat de l'exportation de données sous forme d'image (Fallet Guillaume, 2016)

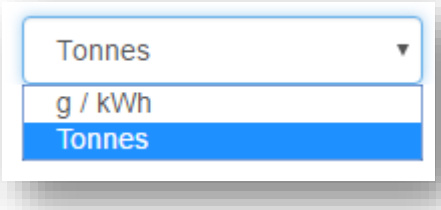


Figure 36 - Résultat du changement d'unité du graphique d'émissions de CO_2 (Fallet Guillaume, 2016)

Rapport-Gratuit.com

5.6 Rétrospective de l'implémentation

Il est possible d'affirmer que l'implémentation s'est bien passée. Toutes les fonctionnalités proposées au début ont été réalisées à l'exception de deux fonctionnalités mineures.

5.6.1 Utilisation de la méthodologie « SCRUM »

Comme dit précédemment, une version allégée de la méthodologie « SCRUM » a été employée dans ce travail.

Toutes les fonctionnalités prévues pour les trois sprints ont à chaque fois toutes été réalisées à temps. Il a néanmoins été nécessaire à plusieurs reprises d'apporter des modifications à certains éléments mais cela est tout à fait voulu dans le cadre d'un projet agile.

Chaque entrevue avec M. Zufferey s'est déroulée de la façon suivante.

1. Présentation des fonctionnalités implémentées.
2. Discussion portant sur des idées d'améliorations et de corrections.
3. Discussion sur les prochaines fonctionnalités à intégrer.
4. Discussion à propos des choix métiers et techniques à faire.
5. Point sur l'avancée générale du travail.

Grâce à cette façon de faire, les objectifs de chaque sprint (et ceux du travail dans sa globalité) ont toujours été bien définis et expliqués. Ce qui a grandement contribué à un développement sans mauvaise surprise.

Le planning initial a été rigoureusement respecté et les estimations pour la durée de chaque phase se sont donc avérées correctes.

5.6.2 Résultat final

Le résultat final est disponible sur le site http://calculateurenergiesuisse2050tb.webou.net/.

À noter qu'il s'agit d'un hébergement gratuit et il se peut qu'il soit temporaire.

Le calculateur est donc parfaitement fonctionnel et une documentation est proposée directement dessus.

5.6.3 Éléments non réalisés

Voici les deux fonctionnalités qui n'ont pas été réalisées :

- *En tant qu'utilisateur je veux sauvegarder les résultats afin de pouvoir les réutiliser à un autre moment.*
- *En tant qu'utilisateur je veux pouvoir comparer plusieurs scénarios afin de déterminer lequel est le plus viable.*

La première a été abandonnée car elle nécessite une mise une place d'un système de sauvegarde local sur l'ordinateur de l'utilisateur et n'apporte pas grand-chose de plus que les fonctionnalités d'export déjà présentes.

En ce qui concerne la seconde, il a été décidé qu'elle rendait le calculateur bien plus compliqué pour n'apporter finalement que peu d'utilité.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

6. Conclusion

L'objectif de ce travail était de développer un calculateur en ligne qui permet de visualiser des différents scénarios de production et de consommation d'électricité dans le but de fournir une aide à la décision pour la transition énergétique décidée par le Conseil Fédéral.

Globalement cet objectif est atteint. Toutes les fonctionnalités qui ont été discutées avec M. Zufferey et M. Jacquod sont présentes et fonctionnelles.

Il est donc possible d'entrer des paramètres tels que l'augmentation des productions d'énergies renouvelables ou les dates de fermetures des actuelles centrales nucléaires puis d'observer le résultat de façon visuelle à l'aide des graphiques générés.

Néanmoins, il est certain que le calculateur dans son état actuel bénéficie d'un potentiel d'amélioration conséquent. Tout d'abord l'aspect général de l'outil laisse à désirer. Il serait possible d'améliorer l'expérience de l'utilisateur en rendant le tout plus beau. Ensuite, l'interaction homme-machine est largement améliorable. Certains éléments ne sont pas intuitifs et peuvent rendre l'utilisation du calculateur difficile. L'avis d'un spécialiste de l'ergonomie aurait été précieux afin de garantir une meilleure navigation.

En termes de fonctionnalités, le calculateur demeure résolument simple. Ce qui est un avantage quand il s'agit de s'adresser au grand public, mais cela devient pénalisant pour visualiser des scénarios plus complexes. Une amélioration envisageable serait de permettre de créer des paliers pour la production et la consommation. Par exemple pouvoir définir une augmentation forte de la production jusqu'à telle année puis ensuite une production stable jusqu'en 2050.

Il est évident que la réalité des évènements dépend de beaucoup plus de critères que ceux proposés actuellement sur le calculateur.

Pour terminer, j'aimerais exposer mon avis concernant ce travail de Bachelor.

Premièrement j'ai choisi ce sujet car l'énergie est un thème qui m'intéresse. Je trouve que d'essayer de résoudre le grand défi de notre siècle qu'est la transition énergétique vers des sources d'énergie renouvelables est passionnant.

Je n’ai donc pas été déçu lors du déroulement de ce travail. J’ai particulièrement apprécié la collaboration avec M. Zufferey et M. Jacquod. Toutes les discussions étaient orientées vers l’énergie, l’exactitude des chiffres employés, les besoins précis du calculateur et beaucoup moins vers le côté technique (programmation) et cela m’a plu.

Il a fallu faire de nombreux choix qui relevaient de l’énergie à proprement parler, la plupart d’entre eux étaient faits à la suite à des discussions avec M. Zufferey et M. Jacquod. Il a aussi faire des choix techniques qui concernaient la programmation, et bien que M. Zufferey soit toujours resté prêt à m’aider en cas de doute, j’ai toujours pu faire ces choix par moi-même, ce qui était agréable.

7. Annexes

I. Planning

Cahier des charges (avec planning)				
N°	Date		Tâches	Délivrables
1	02.05.2016	Préparation (30 h)	Création du cahier des charges, du planning et product backlog	Cahier des charges (Document Word) Planning (Document Excel) Product Backlog (Document Excel)
2	09.05.2016	Phase d'analyse (120 h)	Comprendre la problématique de l'approvisionnement en électricité	Chapitre dans le rapport
3	16.05.2016		Mini état-de-l'art des calculateurs (EnergyScope, etc)	Chapitre dans le rapport
4	23.05.2016		Analyser les outils, langages (PHP, JS, HTML5..) et librairies (bootstrap,Angular,React,JQuery, HighCharts,D3..) et choisir les plus adaptées	Chapitre dans le rapport
5	30.05.2016		Évaluer si l'approche responsive web design est adaptée	Chapitre dans le rapport
6	06.06.2016	Phase d'implémentation (180 h)	Sprint 1	Application + Chapitre dans le rapport
7	13.06.2016		Sprint review et retrospective	
8	20.06.2016		Sprint 2	Application + Chapitre dans le rapport
9	27.06.2016		Sprint review et retrospective	
10	04.07.2016		Sprint 3	Application + Chapitre dans le rapport
11	11.07.2016		Sprint review et retrospective	
12	18.07.2016	Phase finale (30 h)	Rapport de synthèse	Chapitres dans le rapport

II. Product Backlog

US Nr.	Thème	User Stories			Remarque	Priorité	Statut
		En tant que …	Je veux …	Afin de …			
1	Application web	Utilisateur	Voir l'historique de l'évolution de la production et de la consommation d'électricité (sur un même graphique).	savoir comment les choses ont évolué jusqu'à maintenant	période 1950-2015	1	
2	Application web	Utilisateur	Voir l'écart entre la production et la consommation (sur un graphique séparé)	savoir si il faut importer ou exporter de l'électricité	période 1950-2015	1	
3	Application web	Utilisateur	Choisir les dates d'arrêt (et/ou la durée de vie) des centrales nucléaires et voir le résultat sur les graphiques.	pouvoir simuler des scénarios plus ou moins sécurisés	période 2015-2050	2	
4	Application web	Utilisateur	Définir le taux de progression (indice) de la consommation future d'énergie et de la production et voir le résultat sur le graphique.	connaître l'impact de telle ou telle hypothèse	période 2015-2050	2	
5	Application web	Utilisateur	Saisir les prix (CHF/MWh) et les taux de progression des prix et voir l'évolution sur le graphique.	prévoir le prix de l'électricité dans le futur	période 2015-2050	2	
6	Application web	Utilisateur	Choisir la date, le type et la puissance des nouvelles centrales (nucléaire, thermique, solaire..)	savoir dans quelle mesure il sera possible de compenser le nucléaire	période 2015-2050	3	
7	Application web	Utilisateur	Voir la courbe de résultat en CHF, ct./kWh, CO2, CO2/kWh (Cf. Oekobilanzdaten KBOB)	connaître les résultats des paramètres entrés sous forme graphique	période 2015-2050	4	
14	Application web	Utilisateur	Etre alerté si les inputs sont irréalistes	faire des calculs plausibles		2	
8	Application web	Utilisateur	Voir les indicateurs correspondants à mon mix énergétique	connaître les résultats des paramètres entrés sous forme numérique	période 2015-2050	4	
9	Application web	Utilisateur	Charger des scénarios pré-établis (AES, Greenpeace, OFEN..)	connaître les hypothèses faites par des autres organisations sans avoir à les rentrer manuellement		5	
10	Application web	Utilisateur	Comparer plusieurs scénarios ?	déterminer quel scénario est le plus viable		6	
11	Application web	Utilisateur	Imprimer les résultats (print.css)	pouvoir les réutiliser ailleurs		6	
12	Application web	Utilisateur	Sauvegarder les résultats (HTML5 local storage? DB?)	pouvoir les réutiliser à un autre moment		6	
13	Application web	Utilisateur	Pouvoir exporter les résultats sous forme de fichiers excel (CSV)	pouvoir les utiliser ailleurs		6	
15	Application web	Utilisateur	Pouvoir choisir entre des ct. / kWh ou des millions de CHF pour le graphique du prix et des g de CO2 / kWh ou des tonnes de CO2 pour le graphique de la pollution	visualiser l'impact économique et environnemental du scénario envisagé sous plusieurs angles différents		6	

8. Bibliographie

(OFEN), O. f. (2013). *Perspectives énergétiques 2050.*

(OFEN), O. f. (2016). *Les principaux chiffres clés*. Récupéré sur Site officiel de la Confédération suisse: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/08/01/key.html

Agence d'Énergies renouvelables internationales (IRENA). (2016). *The power to change : Solar and wind cost Reduction Potential .* Récupéré sur http://www.transition-energetique.org/2016/06/le-cout-moyen-de-l-electricite-solaire-et-eolienne-pourrait-baisser-jusqu-a-59-d-ici-2025-selon-irena.html?utm_source=_ob_share&utm_medium=_ob_facebookpage&utm_campaign=_ob_share_auto

angularjs.org. (2016). *Page d'accueil de angularjs.org*. Récupéré sur Site officiel de angularjs.org: https://angularjs.org/

Association des entreprises électriques suisses (AES). (2015). *Production et mix énergétique*. Récupéré sur Site officiel de l'association des entreprises électriques suisses (AES): http://www.strom.ch/fr/energie/faits-relatifs-a-lenergie/production-et-mix-energetique.html

Association des entreprises électriques suisses. (2012). *Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur.*

Bootstrap. (2014). *Page d'accueil de Bootstrap*. Récupéré sur Site officiel de Bootstrap: http://getbootstrap.com/

Centre de l'énergie de l'EPFL. (2016). *Quel est le potentiel de l'énergie solaire en Suisse ?* Récupéré sur Swiss EnergyScope: http://www.energyscope.ch/100-questions/energies-renouvelables/quel-est-le-potentiel-de-l-energie-solaire-en-suisse

Centre l'énergie de l'EPFL et IPESE. (2012). *Calculateur de Swiss EnergyScope*. Récupéré sur Swiss EnergyScope: http://calculateur.energyscope.ch/

D3js.org. (2015). *Overview of D3.s*. Récupéré sur Site officiel de D3.js: https://d3js.org/

DETEC, D. f. (2016). *Stratégie énergétique 2050*. Récupéré sur Site officiel de la Confédération suisse: https://www.uvek.admin.ch/uvek/fr/home/energie/strategie-energetique-2050.html

Facebook. (2016). *Page d'accueil de React*. Récupéré sur Site officiel de React: https://facebook.github.io/react/

Fallet Guillaume. (2016).

Greenpeace. (s.d.). *Énergies renouvelables*. Récupéré sur Site officiel de Greenpeace: http://www.greenpeace.org/switzerland/fr/themes/energies/energies-renouvelables/

Highcharts.com. (2016). *Frequently asked questions - Highcharts*. Récupéré sur Site officiel de Highcharts: http://www.highcharts.com/docs/getting-started/frequently-asked-questions

J. O. Blackburn, S. Cunningham. (2012). *Solar and Nuclear Costs - The Historic Crossover.* NC WARN: Waste Awareness & Reduction Network.

jQuery.com. (2016). *What is jQuery*. Récupéré sur site officiel de jQuery: https://jquery.com/

Office fédéral de l'énergie (OFEN). (2012). *Le potentiel hydroélectrique de la Suisse.*

Office fédéral de l'énergie (OFEN). (2016). *Énergie éolienne*. Récupéré sur Site officiel de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN): http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00500/index.html?lang=fr

Office fédéral de l'énergie (OFEN). (2016). *Énergie nucléaire*. Récupéré sur Site officiel de l'office fédéral de l'énergie (OFEN): http://www.bfe.admin.ch/themen/00511/index.html?lang=fr

Padolsey, J. (2013). *What is React?* Récupéré sur Site de James Padolsey: http://james.padolsey.com/javascript/what-is-react/

RTS. (2016, Juin 13). *L'électricité européenne produite à 70% par le renouvelable en 2040*. Récupéré sur RTS - site officiel: http://www.rts.ch/info/sciences-tech/7799752-l-electricite-europeenne-produite-a-70-par-le-renouvelable-en-2040.html

Scott Capper, s. (2013). *Le développement prudent de la géothermie en Suisse*. Récupéré sur SWI swissinfo.ch: http://www.swissinfo.ch/fre/alternative-%C3%A9nerg%C3%A9tique_le-d%C3%A9veloppement-prudent-de-la-g%C3%A9othermie-en-suisse/37021794

Super Computing Systems (SCS). (2013). *Simulation der elektrischen Energieversorgung der Schweiz anhand von konfigurierbaren Szenarien.*

swissnuclear. (2016). *Les centrales nucléaires de la Suisse*. Récupéré sur energienucleaire: https://www.kernenergie.ch/fr/les-centrales-nucleaires-suisses-_content---1--1042.html

tutorialspoint.com. (2016). *AngularJS Tutorial*. Récupéré sur Site de tutorialspoint: http://www.tutorialspoint.com/angularjs/angularjs_overview.htm

Zufferey Arnaud. (2016).

9. Déclaration de l’auteur

Je déclare, par ce document, que j'ai effectué le travail de Bachelor ci-annexé seul, sans autre aide que celles dûment signalées dans les références, et que je n'ai utilisé que les sources expressément mentionnées. Je ne donnerai aucune copie de ce rapport à un tiers sans l'autorisation conjointe du RF et du professeur chargé du suivi du travail de Bachelor, y compris au partenaire de recherche appliquée avec lequel j'ai collaboré, à l'exception des personnes qui m'ont fourni les principales informations nécessaires à la rédaction de ce travail et que je cite ci-après : M. Arnaud Zufferey, M. Philippe Jacquod.