

Filière Energie et techniques environnementales

Orientation Energies renouvelables

Travail de bachelor Diplôme 2018

Thomas Bagnoud

*Approvisionnement en énergie électrique
d'une installation d'extraction d'huile
d'avocat en Guinée*

- *Professeurs*
Roger Röthlisberger
Nicolas Jordan
- *Experte*
Clea Rupp
- *Date de la remise du rapport*
17.08.2018

SYND	ETE	TEVI
X	X	X

Filière / Studiengang ETE	Année académique / Studienjahr 2017/18	No TD / Nr. DA er/2018/79
Mandant / Auftraggeber <input type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input checked="" type="checkbox"/> Etablissement partenaire <i>Partnerinstitution</i>	Etudiant / Student Thomas Bagnoud Professeur / Dozent Roger Röthlisberger	Lieu d'exécution / Ausführungsort <input type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input checked="" type="checkbox"/> Etablissement partenaire <i>Partnerinstitution</i>
Travail confidentiel / vertrauliche Arbeit <input type="checkbox"/> oui / ja ¹ <input checked="" type="checkbox"/> non / nein	Expert / Experte (données complètes) Clea Rupp Coordinatrice du projet Kibili, Chemin des Ramiers 22b, 1009 Pully	
Titre / Titel Approvisionnement en énergie électrique d'une installation d'extraction d'huile d'avocat en Guinée		

¹ Par sa signature, l'étudiant-e s'engage à respecter strictement la directive DI.1.2.02.07 liée au travail de diplôme.
Durch seine Unterschrift verpflichtet sich der/die Student/in, sich an die Richtlinie DI.1.2.02.07 der Diplomarbeit zu halten.

Description / Beschreibung

Le présent sujet de travail de diplôme de Bachelor s'inscrit dans le projet Kibili (www.kibili.ch). Ce projet vise à aider la population des montagnes de Kibili en Guinée au travers de la réalisation d'une installation d'extraction d'huile d'avocat. Celle-ci doit permettre d'exploiter plus efficacement l'abondante production locale et générer ainsi de nouvelles sources de revenus. En effet, faute de moyen de transformation et de stockage, une partie importante de la récolte ne peut actuellement pas être valorisée.

Une étude des procédés d'extraction envisageables est arrivée à la conclusion que seuls les équipements industriels développés à cette fin et disponibles sur le marché permettent d'extraire efficacement et avec une qualité suffisante l'huile d'avocat pour en permettre la commercialisation sur le marché international. Le défi majeur réside donc dans l'approvisionnement énergétique de l'installation et des infrastructures associées dans un environnement dépourvu de réseau électrique. Le processus d'extraction nécessite la mise à disposition de chaleur pour la mise en température de la pâte d'avocat et le nettoyage de l'installation ainsi que d'électricité pour les entraînements mécaniques, la commande et l'éclairage. Idéalement, l'objectif est d'alimenter exclusivement l'installation avec de l'énergie renouvelable.

Sur la base des spécifications de l'ensemble du matériel et des infrastructures nécessaires à la mise en œuvre du processus identifié par l'équipe du projet, de la réception de la récolte au conditionnement de l'huile pour l'expédition en passant par le traitement de l'eau et celui des résidus, une pré-étude de l'approvisionnement énergétique a été réalisée dans le cadre d'un premier travail de Bachelor. Il s'agit ici d'étudier en détail l'approvisionnement en énergie électrique en se référant aux besoins et possibilités identifiés dans le cadre de la pré-étude. L'approvisionnement énergétique est basé sur la combinaison d'une source renouvelable, le solaire photovoltaïque, d'une source non-renouvelable, un groupe de cogénération diesel, et d'un dispositif d'accumulation d'énergie électrique permettant de garantir une alimentation fiable indépendamment des conditions météorologiques.

Concrètement, il s'agit de :

- Concevoir et dimensionner en détail le réseau local de distribution d'électricité ;
- Sur la base des besoins identifiés dans le cadre du premier travail de Bachelor, dimensionner le champ de capteurs photovoltaïques et en sélectionner tous les composants nécessaires. Concevoir le raccordement au réseau local de distribution ;
- Sélectionner un groupe de cogénération basée sur un moteur diesel et concevoir en détail le raccordement de ce dernier au réseau local de distribution. Dimensionner le réservoir de carburant afin d'avoir une autonomie appropriée ;
- Dimensionner l'accumulateur électrique, sélectionner les composants nécessaires et concevoir le raccordement au réseau de distribution ;
- Concevoir un système de gestion de la production d'électricité en fonction de la météo, de l'état de charge de l'accumulateur d'électricité et idéalement de celui de l'accumulateur de chaleur ;
- Etablir un schéma détaillé du réseau de distribution incluant la production photovoltaïque, celle diesel et l'accumulation locale. Générer une liste de tous les composants nécessaires avec leur spécifications, fournisseurs et coûts ;
- Evaluer le coût de l'installation et celui d'éventuelles variantes.

Signature ou visa / Unterschrift oder Visum

Responsable de l'orientation / filière
Leiter der Vertiefungsrichtung / Studiengang:



¹ Etudiant / Student :



Délais / Termine

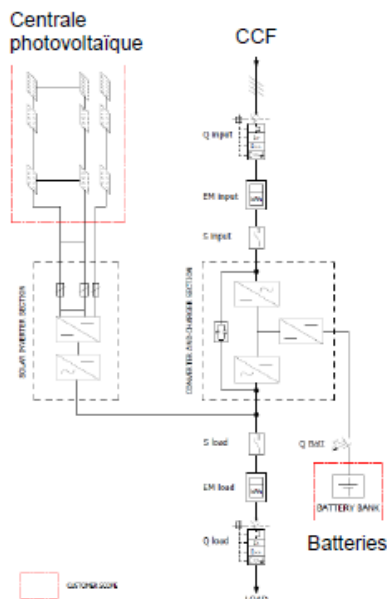
Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags:
16.05.2018

Présentation intermédiaire / Zwischenpräsentation
14 – 15.06.2018

Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts:
17.08.2018, 12:00

Expositions / Ausstellungen der Diplomarbeiten:
29, 30 – 31.08.2018

Défense orale / Mündliche Verfechtung:
04, 05 – 06.09.2018



Approvisionnement en énergie électrique d'une installation d'extraction d'huile d'avocat en Guinée

Diplômant

Thomas Bagnoud

Objectif du projet

L'objectif du projet était d'étudier en détail l'approvisionnement électrique d'une usine produisant de l'huile d'avocat, en se référant aux besoins et possibilités préalablement identifiés dans le cadre d'une pré-étude.

Méthodes | Expériences | Résultats

La consommation électrique de l'usine, comprenant celle de l'installation d'extraction d'huile ainsi que tous les consommateurs divers qui permettent l'exploitation de l'usine, a été étudiée en détail, pour en obtenir des courbes de charges journalières. Sur la base des besoins identifiés, les installations de production et de stockage d'électricité ont pu être pré-dimensionnées, à l'aide de simulations. Les installations de production comprennent une centrale photovoltaïque ainsi qu'un groupe de cogénération diesel, combinés avec un stockage électrique par batteries.

La gestion de la production et du stockage d'électricité a également dû être traitée ; pour ce faire, un équipement intelligent de gestion a été sélectionné. Le système fonctionne selon plusieurs modes opératoires de gestion, et permet également de visualiser les flux d'électricité, à l'aide d'un contrôle à distance. D'après le pré-dimensionnement établi et les spécifications techniques du système de gestion, une centrale photovoltaïque de 106 kWc, combinée avec un parc de batteries de 180 kWh, ont été dimensionnées. Quant au groupe de cogénération diesel, la puissance électrique a été dimensionnée à 80 kW.

Travail de diplôme
| édition 2018 |

Filière
*Energie et techniques
environnementales*

Domaine d'application
Energies renouvelables

Professeurs responsables
Roger Röthlisberger
roger.roethlisberger@heig-vd.ch
Nicolas Jordan
nicolas.jordan@hevs.ch



Installation d'extraction d'huile
« Alfa Oliver 500 »



Équipement de gestion de la
production et du stockage
d'électricité

Remerciements

En préambule, je tiens à remercier les personnes citées ci-dessous pour leur aide apportée tout au long de ce travail, à savoir :

- M. Roger Röthlisberger, professeur à la Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud et responsable principal de ce travail, pour m'avoir guidé et conseillé tout au long du travail.
- M. Nicolas Jordan, professeur à la Haute Ecole d'Ingénierie du Valais et responsable adjoint de ce travail, pour les conseils apportés.
- Mme Clea Rupp, coordinatrice de projet de développement et directrice de l'association « Enfants des collines », pour les renseignements concernant le projet Kibili ainsi que les informations relatives aux machines d'extraction d'huile d'avocat.
- M. Simon Stutz, ingénieur des ventes solaires dans l'entreprise ABB Schweiz AG, pour les informations techniques apportées sur le « Microgrid System ».
- M. Slim Bedoui, chef d'équipe des ventes solaires dans l'entreprise ABB Schweiz AG, pour les informations techniques apportées sur le « Microgrid System ».
- M. Marc Würsten, chef de projets et responsable des ventes dans l'entreprise AKSA Würenlos AG (partenaire suisse des moteurs Cummins), pour les informations techniques apportées sur le « Microgrid System ».
- M. Thierry Müller, collaborateur au service technique dans l'entreprise Swiss-Green Engineering Sàrl, pour les renseignements apportés sur les modules photovoltaïques ainsi que les batteries.
- M. Oussama Djafar, étudiant à la Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud, pour ses renseignements concernant la partie thermique du projet.
- Mme Tamara Caro, collaboratrice administrative et des ventes dans l'entreprise GlobalTT sprl, pour les informations techniques apportées sur des solutions internet par satellite.
- M. Matthias Ostermeier, collaborateur au service technique des ventes dans l'entreprise Fankhauser Solar AG, pour les renseignements apportés sur les modules photovoltaïques intégrés.
- M. Sébastien Dervev, adjoint scientifique à la Haute Ecole d'Ingénierie du Valais, pour son aide concernant l'utilisation du logiciel de simulation Polysun.
- M. Jean-Christophe Arnaudeau, agent Alfa Lava spécialisé dans l'huile d'olive, pour les informations techniques apportées concernant les machines d'extraction d'huile.

Table des matières

I.	INTRODUCTION	1
II.	ORGANISATION	2
	1. CAHIER DES CHARGES	2
	2. PLANIFICATION	3
III.	DÉVELOPPEMENT.....	4
	1. DE LA RÉCOLTE DU FRUIT À LA VENTE DE L'HUILE	4
	2. EXTRACTION D'HUILE	5
	2.1 Etapes d'extraction	5
	2.2 Installation d'extraction.....	8
	3. CONSOMMATIONS ÉLECTRIQUES	10
	3.1 Installation d'extraction.....	10
	3.2 Consommateurs divers de l'usine.....	14
	3.3 Consommation totale de l'usine.....	19
	3.4 Récapitulatif du chapitre	21
	4. DIMENSIONNEMENT DES MOYENS DE PRODUCTION ET DE STOCKAGE	22
	4.1 Simulations.....	23
	4.2 Résultats des simulations.....	26
	4.3 Centrale solaire photovoltaïque	30
	4.4 Stockage par batteries	36
	4.5 Groupe de cogénération diesel.....	38
	5. GESTION DE PRODUCTION ÉLECTRIQUE	40
	5.1 Description du système MGS100.....	40
	5.2 Sélection du MGS	41
	5.3 Section onduleur solaire.....	41
	5.4 Section convertisseur chargeur	42
	6. ACCÈS À INTERNET	43
	6.1 Accès par satellite	43
	6.2 Réseau local internet.....	44
	7. EVALUATION DES COÛTS	45
IV.	POINTS OUVERTS	45
V.	CONCLUSION.....	46
VI.	BIBLIOGRAPHIE.....	47
	ANNEXES.....	

I. INTRODUCTION

Ce travail de bachelor s'inscrit dans le projet Kibili, mandaté par l'association « Enfants des collines ». L'association est une organisation suisse à but non lucratif qui a pour objectif d'améliorer les conditions de vie des habitants en zones rurales, au Bénin et en Guinée.

Démarré en 2014, le projet Kibili vise à aider la population des montagnes de Kibili, en Basse-Guinée, de manière à lutter contre la pauvreté et l'insécurité alimentaire. La région concernée par le projet est la commune rurale de Samaya, réputée pour la qualité de ses fruits récoltés dans les montagnes, notamment l'avocat. Malheureusement, les avocats périssent rapidement en raison de l'enclavement de la zone, qui soumet les productrices et producteurs à des difficultés de commercialisation et de valorisation de leur récolte. En effet, les moyens de transport, de transformation et de stockage sont inexistants dans cette zone, ce qui provoque des pertes post-récolte de plus de 50 % de la production d'avocats [1]. Cela représente plus de 1'000 tonnes par année [2].

Pour pallier le problème de pertes post-récolte, le projet Kibili entend valoriser l'avocat en le transformant en huile, celle-ci pouvant être vendue aux marchés locaux guinéens, suisses et français pour ainsi générer de nouvelles sources de revenus pour les producteurs de la région. L'aboutissant du projet sera l'implantation d'une usine d'extraction d'huile d'avocat de grande qualité, biologique et conforme aux normes européennes des industries agro-alimentaires et cosmétiques.

Pour mener à bien la transformation du fruit en huile, l'installation d'extraction d'huile a besoin de chaleur et d'électricité, sachant que l'usine sera dépourvue de tout réseau électrique. Une pré-étude de l'approvisionnement énergétique de l'installation d'extraction avait déjà été menée en 2017 dans le cadre d'un premier travail de bachelor. Celle-ci était arrivée à la conclusion suivante ; une production à la fois électrique et thermique à partir d'énergie solaire, combinée avec un dispositif d'accumulation électrique et un groupe de cogénération diesel, permettrait de satisfaire la demande énergétique de l'usine.

À la suite de cette pré-étude, deux nouveaux travaux de bachelor ont été développés en 2018, traitant de la thématique environnementale du projet, de l'approvisionnement thermique de l'installation d'extraction d'huile, auxquels s'ajoute le présent travail qui porte sur l'approvisionnement électrique de l'usine d'extraction.

Le défi de ce travail de bachelor réside ainsi dans l'étude détaillée de l'approvisionnement exclusivement électrique de l'installation d'extraction d'huile d'avocat ainsi que des autres consommateurs de l'usine, en se référant aux besoins et possibilités préalablement identifiés dans la pré-étude.

II. ORGANISATION

Pour mener à bien le déroulement du travail, un cahier des charges ainsi qu'une planification ont été créés sur la base de la donnée du travail.

1. Cahier des charges

1. Prise de connaissance de la pré-étude

Une analyse du précédent travail de bachelor est nécessaire pour la compréhension et le développement futur du projet.

2. Identification des besoins électriques

Avant de procéder au dimensionnement des installations de production et de stockage d'électricité, les besoins électriques de l'installation d'extraction et des autres consommateurs de l'usine doivent être identifiés.

3. Dimensionnement de la centrale photovoltaïque

Après avoir défini les besoins électriques de l'usine, une centrale solaire photovoltaïque doit être dimensionnée pour pouvoir fournir l'électricité nécessaire aux consommateurs.

4. Dimensionnement du stockage électrique

Un stockage électrique doit être dimensionné en fonction des besoins électriques identifiés et de la production à partir de la centrale photovoltaïque.

5. Dimensionnement du groupe de cogénération à moteur diesel

Un groupe de cogénération à moteur diesel est nécessaire pour fournir la puissance manquante aux consommateurs. Le groupe adéquat doit ainsi être dimensionné, tandis que le réservoir de carburant doit être défini pour avoir une autonomie appropriée aux besoins électriques identifiés.

6. Conception d'un système de gestion de production électrique

Pour gérer la production d'électricité à partir des différents producteurs, un système de gestion de production doit être développé pour optimiser la consommation.

7. Développement d'un système SCADA de surveillance

Un système d'acquisition et de contrôle de données (SCADA) des différentes installations de production électrique et de l'installation d'extraction d'huile doit être développé. Le système doit permettre la supervision à distance des installations, de manière à suivre leur état et de détecter un quelconque défaut, signalé par des alarmes.

8. Développement d'un système de monitoring énergétique

Un outil informatique de monitoring énergétique doit être brièvement développé, celui-ci pouvant permettre le suivi de toute l'électricité produite, stockée et consommée par l'usine.

9. Dimensionnement du réseau local de distribution d'électricité

Le réseau local de distribution doit être dimensionné de manière à être protégé au niveau électrique. Un schéma de principe et d'implantation du réseau doivent être réalisés.

10. Evaluation du coût des équipements

Les coûts des installations de production, de stockage, de gestion de production, de supervision et du réseau de distribution seront évalués. Il est à noter que les coûts de l'installation d'extraction d'huile d'avocat ne seront pas abordés.

Le cahier des charges est également disponible en **annexe 1**.

Remarque

Il est à noter que plusieurs points présentés dans ce rapport avaient déjà été traités lors de la pré-étude de 2017, mais il a été jugé nécessaire de les reprendre pour le développement et la compréhension de ce travail. La documentation complète ainsi qu'un résumé rédigé de la pré-étude sont disponibles en **annexe 2**.

2. Planification

Sur la base du cahier des charges, un planning Gantt a été créé pour permettre le suivi du déroulement du projet. Des journaux de travail ont également été rédigés afin de garder une trace des tâches effectuées chaque jour. Le planning ainsi que les journaux de travail sont disponibles en **annexe 1**.

III. DÉVELOPPEMENT

1. De la récolte du fruit à la vente de l'huile

Avant la vente de l'huile, plusieurs étapes se succèdent dès la récolte de l'avocat :

1. Récolte et transport des avocats vers l'usine

Les avocats sont récoltés par les paysans, puis acheminés par des camions vers l'usine d'extraction où ils sont stockés dans un local de stockage.

2. Mûrissage des avocats

Les avocats vont mûrir pendant plusieurs jours dans ce local de stockage qui est ventilé pour limiter l'excès de CO₂, celui-ci ayant un impact négatif pour le mûrissage. La température du local doit être maintenue entre 15 °C et 20 °C, maximum 25 °C, afin d'optimiser le mûrissage. Le temps de mûrissage peut varier selon la température du local ; si la température est élevée et que l'aération n'est pas optimale, le mûrissage durera 2 à 3 jours, tandis qu'avec une température plus basse, il pourra atteindre jusqu'à 5 jours.

3. Extraction d'huile de l'avocat

Lorsque les avocats sont mûrs, ils sont envoyés vers l'installation d'extraction d'huile. Environ 3 tonnes d'avocats seront traitées chaque jour pour obtenir près de 250 l d'huile (voir en **annexe 3** le détail des quantités d'avocats et d'huile considérées). Le **chapitre 2** présente en détail le processus d'extraction d'huile ainsi que les machines utilisées pour le processus. La période d'extraction s'étalera de mars à août.

4. Stockage de l'huile

L'huile étant obtenue, elle est stockée dans des bidons en inox pendant environ 1 mois. Il est prévu que la qualité de l'huile soit analysée au laboratoire de l'usine.

5. Exportation et vente de l'huile

L'huile est finalement exportée et vendue vers les marchés locaux et internationaux. 20 % des quantités d'huile seront vendues dans la région, alors que le reste sera exporté vers la capitale, en France et en Suisse [4]. Deux à trois transports en container sont prévus sur la période d'extraction.

Remarque

Les informations décrivant les étapes ci-dessus ont été obtenues à partir de la pré-étude en **annexe 2** et également par Mme Rupp. Elles pourraient différer au fil du développement du projet Kibili.

2. Extraction d'huile

2.1 Etapes d'extraction

L'extraction d'huile de l'avocat passe par différentes étapes nécessaires pour l'obtention d'un produit de qualité. Les étapes définissant le processus d'extraction avaient été précisément définies lors d'essais d'extraction d'huile effectués dans le cadre de la pré-étude (le bilan des essais est disponible en **annexe 3**). Les étapes sont les suivantes :

1. Préparation des avocats et remplissage du premier compartiment malaxeur

Les avocats sont nettoyés, épluchés et dénoyautés, puis broyés pour casser les fibres et rendre la pulpe plus fine avant d'être amenés au premier compartiment du malaxeur.

2. Malaxage du premier compartiment malaxeur

La pâte d'avocat est malaxée pendant plusieurs minutes à une température allant jusqu'à 45 °C. La hausse de température est obtenue grâce à de l'eau chauffée circulant dans les parois du malaxeur. Lors du malaxage, des gouttelettes d'huile se rassemblent pour ainsi former de plus grosses gouttes. Cela provoque une émulsion entre l'eau et l'huile.

3. Préparation des avocats et remplissage du deuxième compartiment malaxeur & Malaxage du premier compartiment malaxeur

Une autre série d'avocats est préparée de manière semblable à la 1^{ère} étape, mais amenée au deuxième compartiment du malaxeur. Le malaxage du premier compartiment est toujours en cours.

4. Malaxage des deux compartiments malaxeur

La pâte d'avocat est malaxée dans les 2 compartiments du malaxeur.

5. Vidange du premier compartiment malaxeur, décantation et centrifugation & Malaxage du deuxième compartiment malaxeur

Le premier compartiment du malaxeur se vide. Dès lors, la pâte est transférée au décanteur et à la centrifugeuse. La décantation permet la séparation des phases liquides et solides de la pâte. Lors de la centrifugation, le reste d'eau et d'impuretés encore présents sont finalement extraits de l'huile brute obtenue après décantation. Le malaxage dans le deuxième compartiment est toujours en cours pendant cette 5^{ème} étape.

6. Préparation des avocats et remplissage du premier compartiment malaxeur & Vidange du deuxième compartiment malaxeur, décantation et centrifugation

Une nouvelle série d'avocats est préparée de manière semblable à la 1^{ère} étape. La pâte du deuxième compartiment est vidée, décantée et centrifugée de manière semblable à la 5^{ème} étape.

7. Malaxage du premier compartiment malaxeur & Vidange du deuxième compartiment malaxeur, décantation et centrifugation

La pâte du premier compartiment est malaxée de manière semblable à la 2^{ème} étape. La vidange, décantation et centrifugation de la pâte du deuxième compartiment du malaxeur est toujours en cours pour cette 7^{ème} étape.

8. Préparation des avocats et remplissage du deuxième compartiment malaxeur & Malaxage du premier compartiment malaxeur

Cette étape est semblable à la 3^{ème} étape.

9. Vidange du premier compartiment malaxeur, décantation et centrifugation

La pâte du premier compartiment du malaxeur est vidée, décantée puis centrifugée.

La **figure 1** ci-dessous résume les diverses actions effectuées pendant chaque étape :

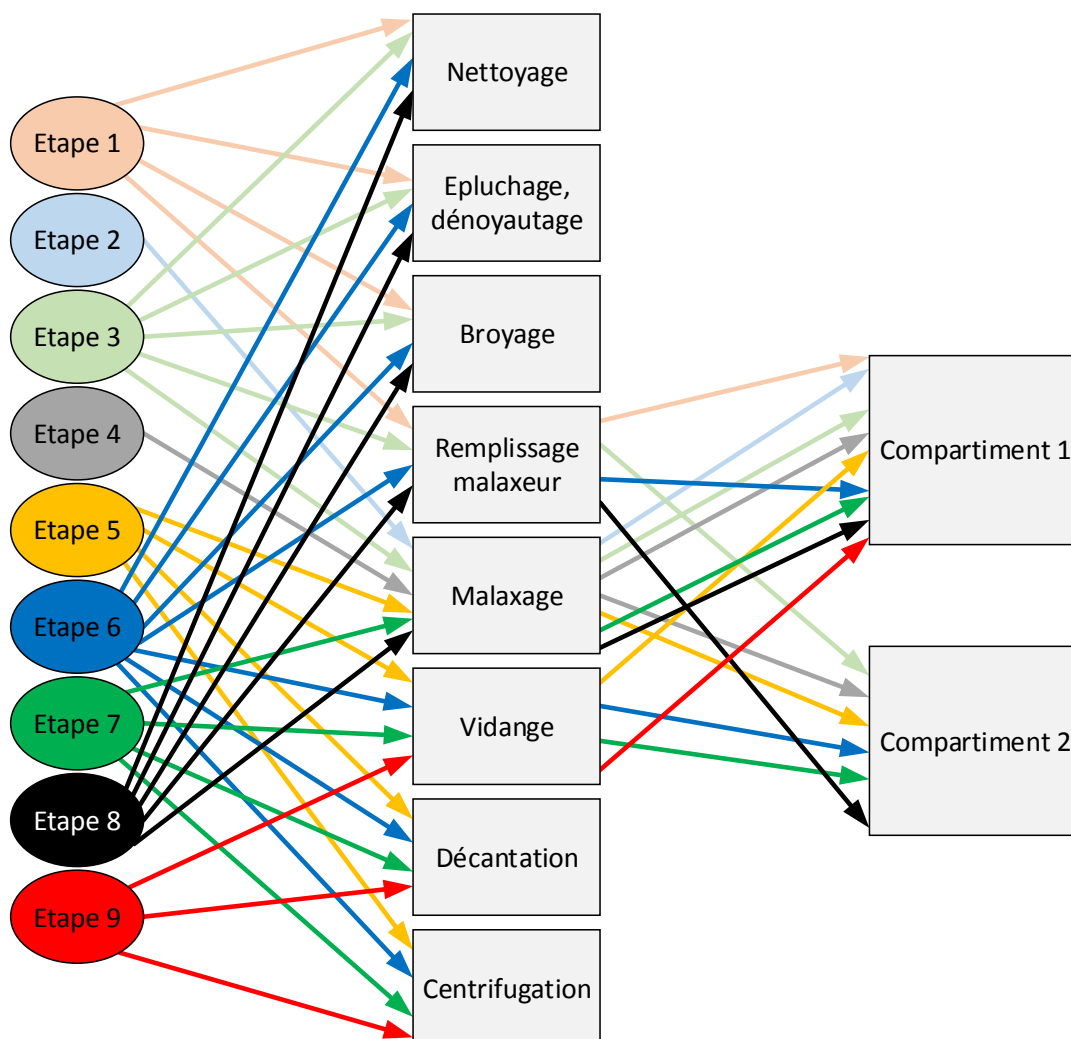


Figure 1 : résumé des actions effectuées pendant chaque étape du processus d'extraction

2.2 Installation d'extraction

L'installation d'extraction d'huile, qui assure la production de l'huile, se compose de plusieurs machines. Dans le cadre de ce travail, la plupart des machines étudiées avaient déjà été sélectionnées lors de la pré-étude. Toutes les machines proviennent du fabricant « Alfa Laval », à l'exception de l'éplucheur-dénoyauteur produit par la maison « Kreuzmayr ».

Le **tableau 2** ci-dessous dresse la liste des 20 machines composant l'installation d'extraction, avec leur fonction, ainsi que les étapes (**chapitre 2.1**) pour lesquelles elles sont enclenchées :

ID	Machine	Fonction	Etapes
1	Laveuse	Nettoyage des avocats	1, 3, 6, 8
2	Moteur élévateur avocat	Transport de la laveuse à l'éplucheur-dénoyauteur	1, 3, 6, 8
3	Eplucheur-dénoyauteur	Epluchage-dénoyautage	1, 3, 6, 8
4	Moteur vis d'amenée au broyeur	Transport de l'éplucheur-dénoyauteur au broyeur	1, 3, 6, 8
5	Moteur alimentation du broyeur	Broyage	1, 3, 6, 8
6	Moteur broyeur	Broyage	1, 3, 6, 8
7	Moteur vis transport pâte	Remplissage du malaxeur	1, 3, 6, 8
8	Moteur pompe transport pâte	Remplissage du malaxeur	1, 3, 6, 8
9	Réchauffeur eau de chauffage	Chauffage d'eau pour le malaxage	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
10	Moteur malaxeur	Malaxage	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
11	Moteur pompe pâte	Vidange du malaxeur au décanteur	5, 6, 7, 9
12	Moteur pompe huile de décanteur	Décantation	5, 6, 7, 9
13	Moteur pompe eau dilution	Circulation d'eau dilution pour la décantation	5, 6, 7, 9
14	Réchauffeur eau dilution	Chauffage d'eau dilution pour clarifier l'huile	5, 6, 7, 9
15	Moteur décanteur	Décantation	5, 6, 7, 9
16	Moteur vis transporteuse de grignon	Evacuation du grignon provenant du décanteur	5, 6, 7, 9
17	Moteur pompe de grignon	Evacuation du grignon provenant du décanteur	5, 6, 7, 9
18	Moteur horizontal vis sans fin	Transport du décanteur à la centrifugeuse	5, 6, 7, 9
19	Moteur pompe eaux végétales	Evacuation du reste d'eau et d'impuretés après décantation	5, 6, 7, 9
20	Moteur séparateur d'huile	Centrifugation	5, 6, 7, 9

Tableau 2 : machines utilisées dans l'installation d'extraction

Les **figures 3 et 4** à la page suivante illustrent les principales machines de l'installation d'extraction, qui font partie de la chaîne d'extraction « Alfa Oliver 500 ». Doit s'ajouter entre la laveuse et le broyeur à disques (**figure 3**) l'éplucheur-dénoyauteur « Kreuzmayr KEP 1000 ». Le groupe thermique contient les 2 réchauffeurs d'eau de chauffage et d'eau de dilution. Ces réchauffeurs sont en réalité des résistances de chauffage qui permettent la montée en température de l'eau de dilution et de la pâte d'avocat à travers l'eau de chauffage.

Des datasheets et modes d'emploi des machines composant l'installation d'extraction sont disponibles en **annexe 4**.

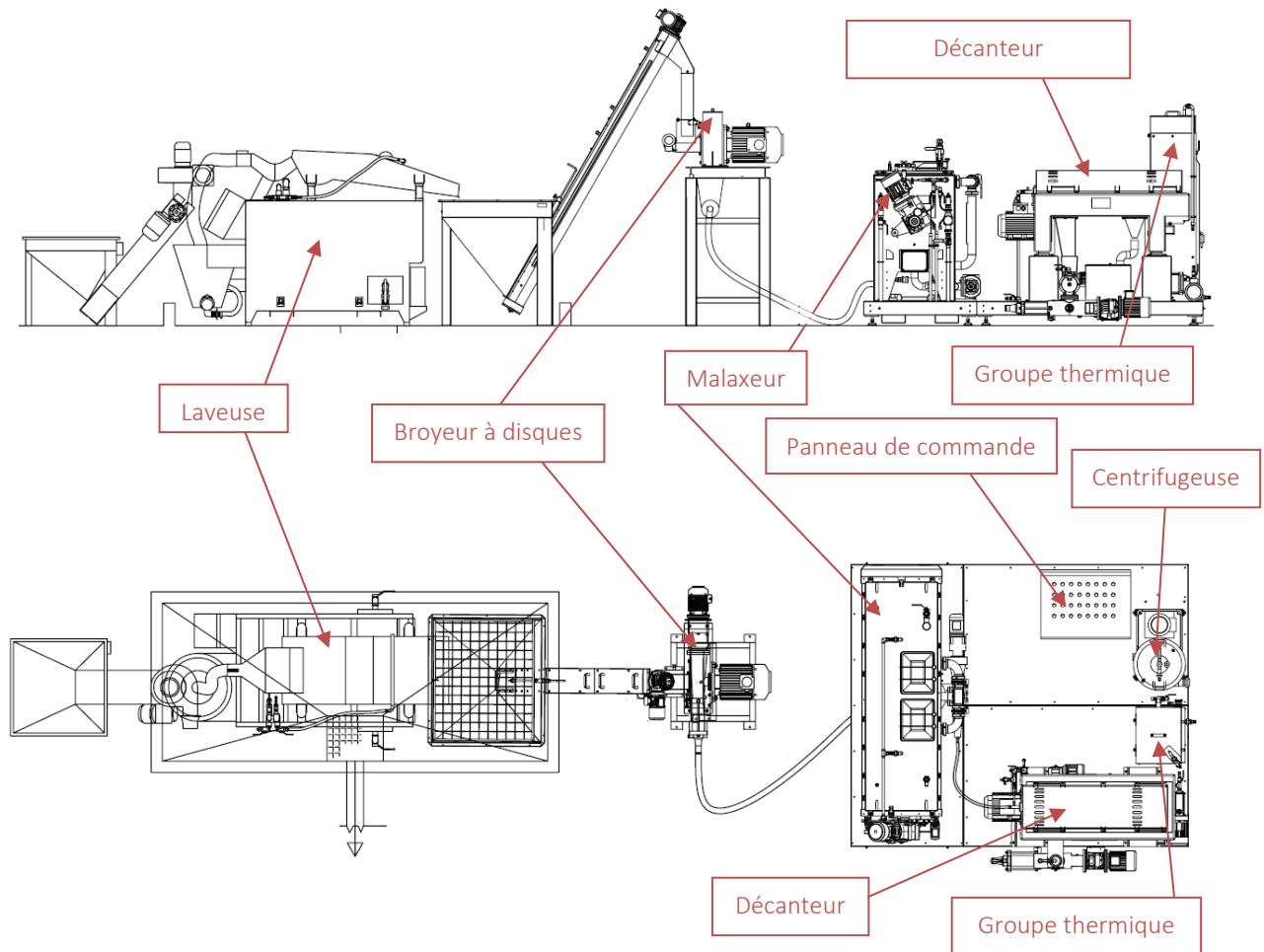


Figure 3 : installation d'extraction "Alfa Oliver 500"

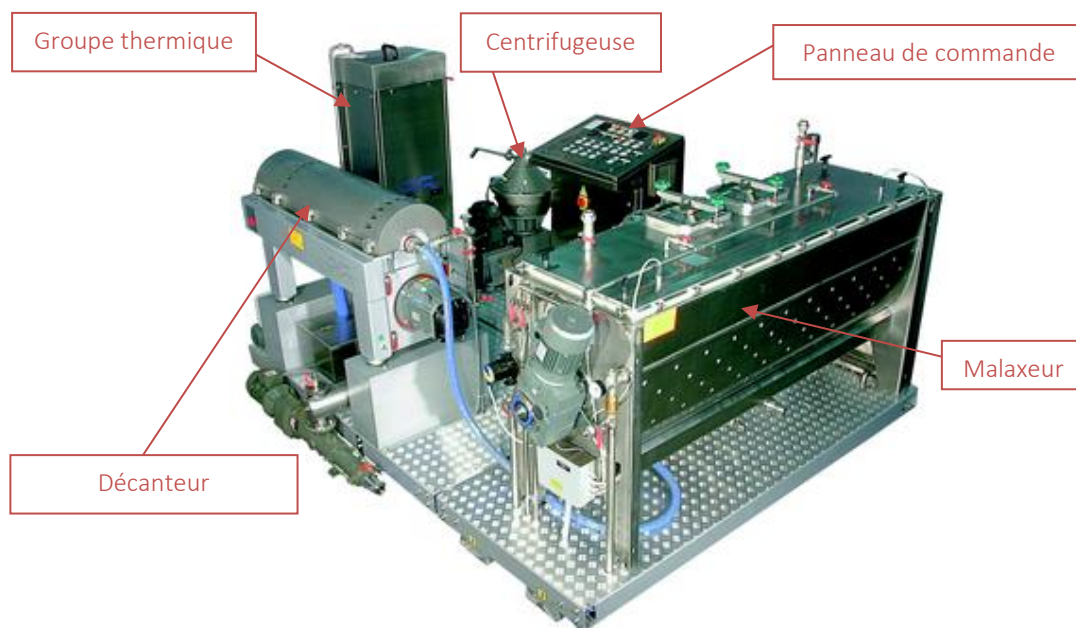


Figure 4 : chaîne principale de l'installation d'extraction "Alfa Oliver 500"

3. Consommations électriques

Avant de dimensionner les installations de production et de stockage d'électricité, il est nécessaire de préalablement définir les besoins électriques de tous les consommateurs de l'usine, afin d'établir des courbes de charge² et de définir la consommation d'énergie sur une journée type d'extraction et en dehors de la période d'extraction. Les consommateurs comprennent l'installation d'extraction, dont les besoins électriques sont les plus importants, ainsi que tous les autres équipements qui permettent l'exploitation de l'usine. Les besoins électriques avaient déjà été étudiés lors de la pré-étude, mais ils ont été revus et modifiés au besoin, afin d'avoir une base solide pour le dimensionnement futur.

3.1 Installation d'extraction

Chaque machine de l'installation a des consommations électriques différentes, présentées dans le **tableau 3** suivant :

ID	Machine	I _{min} [A]	I _{nominal} [A]	I _{max} [A]	P _{min} [kW]	P _{nominate} [kW]	P _{max} [kW]
1	Laveuse	6.50	7.22	8.66	4.50	5.00	6.00
2	Moteur élévateur avocat	1.10	1.20	1.60	0.34	0.37	0.49
3	Eplucheur-dénoyauteur	9.80	10.83	14.00	6.79	7.5	9.70
4	Moteur vis d'amenée au broyeur	2.80	3.60	4.00	1.17	1.50	1.67
5	Moteur alimentation du broyeur	1.10	1.20	1.60	0.34	0.37	0.49
6	Moteur broyeur	11.00	11.00	16.00	5.50	5.50	8.00
7	Moteur vis transport pâte	1.10	1.20	1.60	0.34	0.37	0.49
8	Moteur pompe transport pâte	2.80	3.60	4.00	1.17	1.50	1.67
9	Réchauffeur eau de chauffage	7.00	7.00	7.00	5.00	5.00	5.00
10	Moteur malaxeur	2.20	2.60	3.20	0.93	1.10	1.35
11	Moteur pompe pâte	1.40	1.65	2.00	0.47	0.55	0.67
12	Moteur pompe huile de décanteur	0.90	1.10	1.25	0.20	0.25	0.28
13	Moteur pompe eau dilution	2.20	2.60	3.20	0.76	0.90	1.11
14	Réchauffeur eau dilution	7.00	7.00	7.00	5.00	5.00	5.00
15	Moteur décanteur	9.00	9.00	12.50	4.00	4.00	5.56
16	Moteur vis transporteuse de grignon	1.10	1.20	1.60	0.34	0.37	0.49
17	Moteur pompe de grignon	2.80	3.60	4.00	1.17	1.50	1.67
18	Moteur horizontal vis sans fin	2.20	2.70	3.20	0.90	1.10	1.30
19	Moteur pompe eaux végétales	0.70	0.70	1.00	0.18	0.18	0.26
20	Moteur séparateur d'huile (centrifugeuse)	4.50	5.20	6.30	1.90	2.20	2.67

Tableau 3 : courants/puissances consommés par les machines de l'installation d'extraction

Lors de la pré-étude, les caractéristiques électriques de la laveuse n'avaient pas été prises en compte pour les consommations. En effet, la laveuse n'avait pas été considérée lors des essais d'extraction d'huile (**annexe 3**). Les informations du **tableau 3** ont été obtenues à l'aide du schéma électrique de puissance de l'installation d'extraction « Alfa Oliver 500 » disponible en **annexe 4**.

² Les courbes de charge représentées dans ce chapitre sont construites à partir des puissances nominales.

3.1.1 Courbe de charge

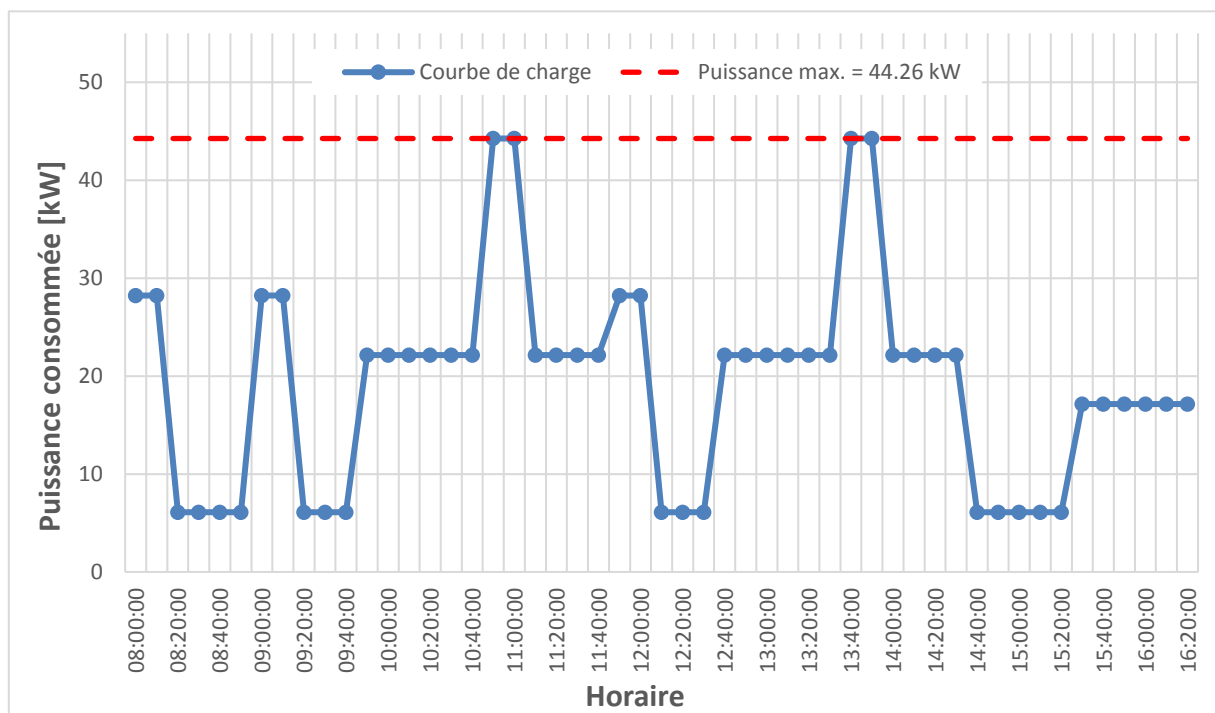
A l'aide des **tableaux 2 et 3**, la liste des machines en fonction pour chaque étape ainsi que les consommations de courants et puissances ont pu être établies dans le **tableau 4** suivant :

Etape	ID machines en fonction	I _{min} [A]	I _{nominal} [A]	I _{max} [A]	P _{min} [kW]	P _{nominale} [kW]	P _{max} [kW]
1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	45.40	49.44	61.66	26.07	28.21	34.87
2	9, 10	9.20	9.60	10.20	5.93	6.10	6.35
3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	45.40	49.44	61.66	26.07	28.21	34.87
4	9, 10	9.20	9.60	10.20	5.93	6.10	6.35
5	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	41.00	44.35	52.25	20.85	22.15	25.35
6	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	77.20	84.19	103.71	40.99	44.26	53.87
7	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	41.00	44.35	52.25	20.85	22.15	25.35
8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	45.40	49.44	61.66	26.07	28.21	34.87
9	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20	34.00	37.35	45.25	15.85	17.15	20.35

Tableau 4 : machines en fonction et consommations électriques par étape

Les consommations de courants et puissances pour chaque étape sont obtenues par l'addition des propres courants et puissances des machines en fonction selon l'étape.

La succession des étapes ainsi que leur durée sur une journée type d'extraction est connue (voir le **tableau 1** et la **figure 2**), il est ainsi possible de tracer la courbe de charge, représentée sur le **graphique 1**, pour une journée type d'extraction de 8h à 16h30. Des pas de temps de 10 minutes ont été considérés :



Graphique 1 : courbe de charge de l'installation d'extraction pour une journée type d'extraction

La puissance maximale consommée par l'installation est d'environ **45 kW**.

3.1.2 Consommation d'énergie

Pour calculer l'énergie totale consommée par l'installation d'extraction en 1 journée, plusieurs calculs ont été opérés.

1. Calcul d'énergies électriques instantanées

A l'aide de l'**équation 1** ci-dessous, les énergies électriques instantanées consommées ont été calculées :

$$E_{\text{él.inst.}} = P_{\text{él.}} \cdot t$$

Équation 1 : calcul d'énergie électrique instantanée

- $E_{\text{él.inst.}}$: énergie électrique instantanée en [kWh]
- $P_{\text{él.}}$: puissance électrique en [kW]
- t : temps de consommation en [h]

Le temps de consommation « t » est dans ce cas toujours égal à 1h, à l'exception de la dernière valeur d'énergie pour laquelle le temps est de 30 minutes, soit 0.5h. Notons que les énergies électriques consommées par les réchauffeurs n'ont pas été prises en compte (explication au **point 2**).

2. Calcul d'énergie calorifique des réchauffeurs pour la journée

Plusieurs étapes ont en fonction les réchauffeurs d'eau de chauffage et d'eau de dilution (voir **tableau 4**), tous deux de 5 kW de puissance électrique. Il est ainsi incohérent de calculer l'énergie électrique qu'ils consomment en multipliant leur puissance par le temps de l'étape, car les temps de consommation pour que les réchauffeurs atteignent la température voulue sont différents. Ainsi, les énergies calorifiques ont été calculées d'après l'**équation 2** suivante :

$$E_{\text{cal.}} = m \cdot c \cdot (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})$$

Équation 2 : calcul d'énergie calorifique

- $E_{\text{cal.}}$: énergie calorifique en [kWh]
- m : masse du corps en [kg]
- c : chaleur massique du corps en [J/kg·K]
- T_{out} : température à laquelle le corps doit être chauffé en [K]
- T_{in} : température du corps avant le chauffage en [K]

Le **tableau 5** à la page suivante présente les valeurs pour lesquelles ont été calculées les énergies calorifiques consommées par les réchauffeurs.

Réchauffeur	m [kg]	c [J/kg·K]	T _{out} [K]	T _{in} [K]	E _{cal.} [J]	E _{cal.} [kWh]
Eau de chauffage	1750	3744	318	298	131 040 000	36.4
Eau de dilution	40	4186	318	298	16 744 000	4.65

Tableau 5 : détails du calcul des énergies calorifiques consommées par les réchauffeurs

Pour le réchauffeur d'eau de chauffage, la chaleur massique de 3744 J/kg·K [4] correspond à celle de la pâte d'avocat. Pour le réchauffeur d'eau de dilution, la chaleur massique est celle de l'eau. Les températures et masses considérées ont été obtenues d'après la simulation 2 des essais d'extraction d'huile détaillée en **annexe 3**. L'énergie calorifique totale consommée par les réchauffeurs tout au long de la journée est ainsi égal à **41.05 kWh**.

3. Répartition de l'énergie calorifique sur les énergies électriques instantanées

Afin d'avoir une estimation réaliste des énergies totales instantanées, l'énergie calorifique des réchauffeurs a été répartie sur les 9h (en arrondissant les 8h30) de la journée type d'extraction, avec un coefficient de 20 % en plus représentant les pertes dues au groupe thermique et au circuit de chauffage. Ainsi, pour chaque énergie électrique instantanée (**point 1**) a été additionnée une énergie calorifique de **5.47 kWh**, comme détaillé dans l'**équation 3** ci-dessous :

$$E_{tot.inst.} = E_{él.inst.} + \underbrace{\frac{E_{réchau\text{f.}}}{9} + \overbrace{20\% \cdot \frac{E_{réchau\text{f.}}}{9}}^{\text{Pertes groupe thermique et circuit chauffage}}}_{\text{Energie calorifique répartie} = 5.47 \text{ kWh}}$$

Équation 3 : calcul de l'énergie totale instantanée

- E_{tot.inst.} : énergie totale instantanée en [kWh]
- E_{él.inst.} : énergie électrique instantanée en [kWh]
- E_{réchau\text{f.}} : énergie calorifique totale des réchauffeurs en [kWh]

4. Calcul de l'énergie totale en 1 journée

Toutes les énergies totales instantanées calculées au **point 3** sont additionnées. L'énergie totale consommée par l'installation d'extraction en 1 journée est ainsi égal à **151 kWh**. En dehors de la période d'extraction, l'installation d'extraction d'huile n'est jamais en fonction. Aucune puissance n'est ainsi consommée.

En **annexe 4** sont indiquées les énergies instantanées consommées chaque heure.

3.2 Consommateurs divers de l'usine

Sans prendre en considération l'installation d'extraction d'huile, l'usine compte plusieurs consommateurs qui permettent son exploitation. Le **tableau 6** ci-dessous dresse la liste des consommateurs considérés avec leur consommation de puissance nominale :

	Consommateur	Quantité	P _{nom./unité} [kW]	P _{nom.} [kW]
Thermique	Pompe d'extraction "Grundfoss"	1	3.07	3.07
	Système solaire thermique	1	0.0017	0.0017
	Filtre UV	1	0.042	0.042
	Groupe froid	1	1.6	1.6
	Kärcher	1	3	3
	Autolaveuse	1	1.85	1.85
Eclairage	Locaux de transformation, bureaux, vestiaires, cantine, local gardien	-	-	0.285
	Locaux stockage + Local technique + Couloirs + Espace groupe cogénération	-	-	0.273
	Espace pour le gardien de nuit	-	-	0.038
	Espace pour les villageois	-	-	0.05
Informatiques	Ordinateur pour le gardien de nuit	1	0.2	0.2
	Ordinateur fixe	2	0.2	0.4
	Imprimante	1	0.278	0.278
	Chargeur téléphone portable	20	0.005	0.1
	Automate	2	0.19	0.38
	Matériel d'automates	-	0.5	0.5

Tableau 6 : consommateurs divers de l'usine avec leur consommation en puissance

Certaines valeurs de puissances présentes dans le **tableau 6** ont été obtenues par calcul. Les **chapitres 3.2.2 et 3.2.3** expliquent en détail les divers calculs effectués.

3.2.1 Consommateurs thermiques

Les consommateurs dits thermiques comprennent tous les éléments qui servent à l'exploitation de l'eau et de la chaleur pour l'usine. Leur fonction est expliquée ci-après :

Pompe d'extraction « Grundfoss »

Comme défini dans la pré-étude (**annexe 2**), une nappe phréatique est présente dans la région des montagnes de Kibili. La pompe sert ainsi à approvisionner l'usine en eau depuis la nappe phréatique.

Système solaire thermique

Le système solaire thermique représente l'ensemble des éléments qui permettent le chauffage de l'eau à partir de panneaux solaires thermiques. Pour ce faire, le système est composé d'une ou plusieurs pompes de circulation, de capteurs ainsi que de régulateurs.

Filtre UV

Avant la consommation d'eau à partir de la nappe phréatique, celle-ci nécessite d'être filtrée afin de la rendre stérile pour son exploitation future.

Groupe froid

Le groupe froid est un climatiseur qui permet d'abaisser la température de l'air dans les locaux de stockage et de mûrissage des fruits.

Kärcher et autolaveuse

Un kärcher a été prévu pour nettoyer l'installation d'extraction d'huile. L'autolaveuse permet le nettoyage de l'usine.

3.2.2 Consommateurs pour l'éclairage

Les divers espaces de l'usine nécessitent un éclairage adapté. Pour ce faire, des valeurs normées d'éclairage minimal sont requises, en fonction du lieu à éclairer. Les normes présentées au **tableau 7** sont les mêmes que celles utilisées lors de la pré-étude [5] :

Lieu	Eclairage minimal [lux]
Locaux de travail, vestiaires, sanitaires	120
Escaliers et entrepôts	60
Zones et voies de circulation extérieures	20

Tableau 7 : normes d'éclairages minimales

Afin de déterminer les puissances d'éclairage nécessaires en fonction du lieu, il est nécessaire de connaître le rendement lumineux théorique des éléments permettant l'éclairage ainsi que la surface du lieu. Ainsi, un rendement lumineux théorique de **80 lumen/Watt** [6] a été considéré, la valeur étant caractéristique des lampes LED. Les surfaces sont les mêmes que celles considérées pour la pré-étude. A l'aide de l'**équation 4**, les puissances d'éclairage requises pour les différents lieux de l'usine ont été calculées (**tableau 8**).

$$P = \frac{S \cdot \phi_{lum.min.}}{\eta_{lum.th.}}$$

Équation 4 : calcul de la puissance d'éclairage

- P : puissance d'éclairage en [W]
- S : surface du lieu à éclairer en [m²]
- $\phi_{lum.min.}$: éclairage minimal en [lux] = [lumen/m²] (défini à l'aide du **tableau 7**)
- $\eta_{lum.th.}$: rendement lumineux théorique en [lumen/W]

Lieu de l'usine à éclairer	S [m ²]	$\phi_{lum.min.}$ [lux]	P [W]
Locaux de transformation, bureaux, vestiaires, cantine, local gardien	190	120	285
Locaux stockage + Local technique + Couloirs + Espace groupe cogénération	364	60	273
Espace gardien de nuit	150	20	38
Espace pour les villageois	200	20	50

Tableau 8 : détails du calcul des puissances d'éclairage

3.2.3 Consommateurs informatiques

Ordinateurs et imprimante

Les puissances consommées par les ordinateurs et l'imprimante sont des valeurs littéraires [7]. Deux ordinateurs fixes ont été prévus, ceux-ci pouvant servir par la suite au contrôle de l'installation d'extraction. Un ordinateur pour le gardien de nuit est également prévu.

Chargeurs de téléphone portable

La puissance d'un chargeur de téléphone portable a été obtenue par la multiplication de la tension du chargeur en [V] par son courant en [A]. Le modèle d'un chargeur « Samsung » a été sélectionné, celui-ci ayant une tension de charge de 5 V pour un courant de 1 A. La puissance est ainsi égale à 5 W. Il avait été défini lors de la pré-étude qu'une zone serait à disposition des habitants à proximité de l'usine, c'est pourquoi 20 chargeurs de téléphones ont été pris en compte dans les consommations électriques.

Automates et matériel d'automates

Des automates ainsi que du matériel d'automates ont été considérés. En effet, il est prévu que l'installation soit automatisée à l'aide d'automates programmables et qu'un système de gestion de production contrôlé par des automates soit présent. La puissance consommée par les automates a été obtenue à partir de la puissance fournie par une carte d'alimentation « Siemens », dont la datasheet est disponible en **annexe 5**. La puissance du matériel d'automates a été estimée à 500 W, cette valeur étant encore incertaine mais suffisamment réaliste car les composants sont encore inconnus.

Remarques

- La liste des consommateurs thermiques ainsi que les informations les concernant ont été transmises lors des premières semaines du présent travail par M. Oussama Djafar, dont l'approvisionnement thermique de l'installation d'extraction d'huile a été le thème de son travail de bachelor.
- Deux autres ventilateurs de 40 W chacun servant au refroidissement des locaux ont par la suite été ajoutés à la liste des consommateurs de M. Djafar, mais ceux-ci n'ont pas été pris en considération dans le présent travail, le dimensionnement des installations de production et de stockage ayant déjà été entrepris lors de la réception des informations relatives aux nouveaux ventilateurs.
- La liste des consommateurs thermiques du travail de M. Djafar est ainsi différente de celle présentée dans le **tableau 6**.

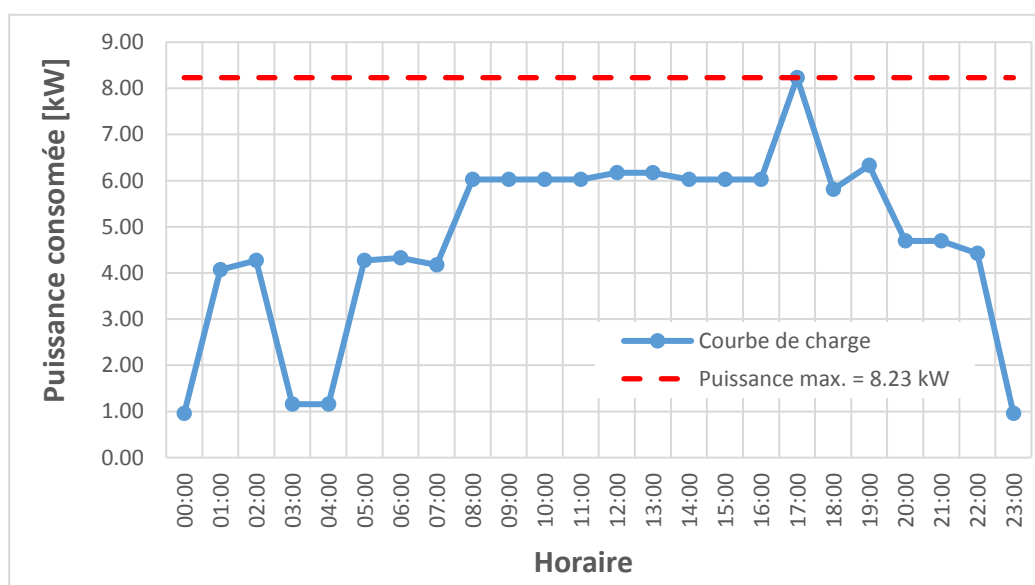
3.2.4 Courbes de charge

Les courbes de charge en période d'extraction et hors période d'extraction ont été obtenues en estimant des temps et plages de fonctionnement différents, en raison d'une utilisation moins intense des consommateurs divers lorsque l'installation d'extraction est en arrêt (hors période d'extraction). Ci-dessous, les **tableaux 9 et 10** présentent les détails de fonctionnement des consommateurs divers de l'usine. Les courbes de charge sont tracées aux **graphiques 2 et 3**. Des pas de temps de 1h ont été considérés pour chaque courbe.

En période d'extraction

Consommateur	Temps de fonctionnement [h]	Plages de fonctionnement
Pompe d'extraction "Grundfoss"	20	1h-3h, 5h-23h
Système solaire thermique	20	1h-3h, 5h-23h
Filtre UVC	20	1h-3h, 5h-23h
Groupe froid	12	8h-20h
Kärcher	0.5	17h-17h30
Autolaveuse	0.5	17h-17h30
Locaux de transformation, bureaux, vestiaires, cantine, local gardien	2	7h-7h30, 12h30-13h30, 18h-18h30
Locaux stockage + Local technique + Couloirs + Espace groupe cogénération	4	6h-7h, 19h-22h
Espace pour le gardien de nuit	11.5	0h-6h30, 19h-23h59
Espace pour les villageois	4	19h-23h
Ordinateur pour le gardien de nuit	8	2h-6h, 19h-23h
Ordinateur fixe	10.5	0h-23h59
Imprimante	0.5	17h-17h30
Automate	4	19h-23h
Chargeur téléphone portable	24	0h-23h59
Matériel automate	24	0h-23h59

Tableau 9 : temps et plages de fonctionnement des consommateurs divers de l'usine

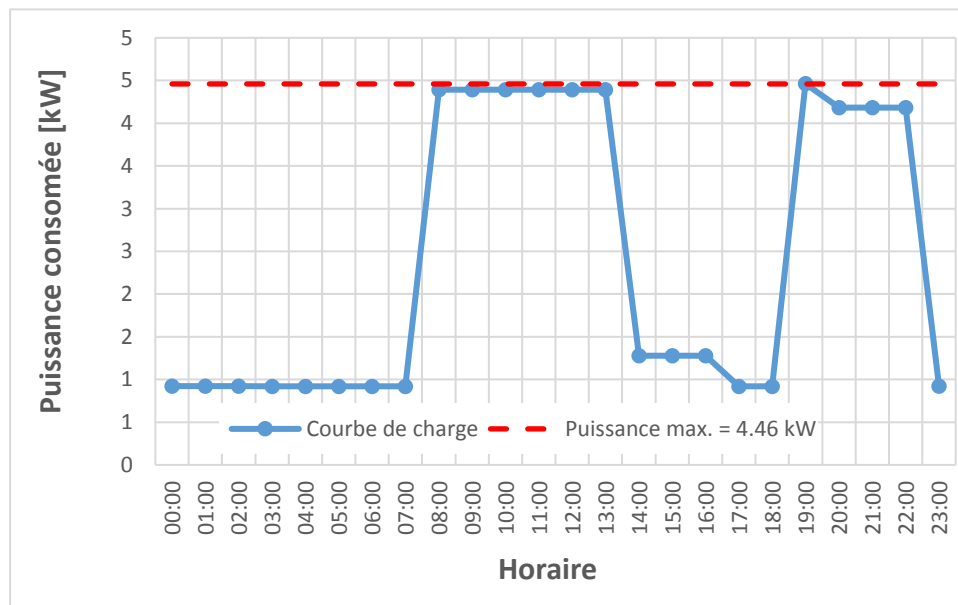


Graphique 2 : courbe de charge des consommateurs divers pour une journée type d'extraction

Hors période d'extraction

Consommateur	Temps de fonctionnement [h]	Plages de fonctionnement
Pompe d'extraction "Grundfoss"	10	8h-14h, 19h-23h
Système solaire thermique	9	0h-3h, 12h-13h, 19h-23h59
Filtre UVC	10	8h-14h, 19h-23h
Groupe froid	0	-
Kärcher	0	-
Autolaveuse	0	-
Locaux de transformation, bureaux, vestiaires, cantine, local gardien	0.5	19h-19h30
Locaux stockage + Local technique + Couloirs + Espace groupe cogénération	0.5	19h-19h30
Espace pour le gardien de nuit	0	-
Espace pour les villageois	4	19h-23h
Ordinateur pour le gardien de nuit	0	-
Ordinateur fixe	10.5	0h-23h59
Imprimante	0	-
Automate	4	19h-23h
Chargeur téléphone portable	24	0h-23h59
Matériel automate	24	0h-23h59

Tableau 10 : temps et plages de fonctionnement des consommateurs divers de l'usine



Graphique 3 : courbe de charge des consommateurs divers pour une journée type hors extraction

3.2.5 Consommation d'énergie

Les puissances de chaque consommateur divers (**tableau 6**) ont été multipliées par leur temps de fonctionnement selon la période, définis dans les **tableaux 9 et 10**. Le calcul est semblable à l'équation 1.

En période d'extraction, l'énergie totale consommée sur 1 journée est égale à **115 kWh**. En dehors de la période, elle s'élève à **57 kWh**.

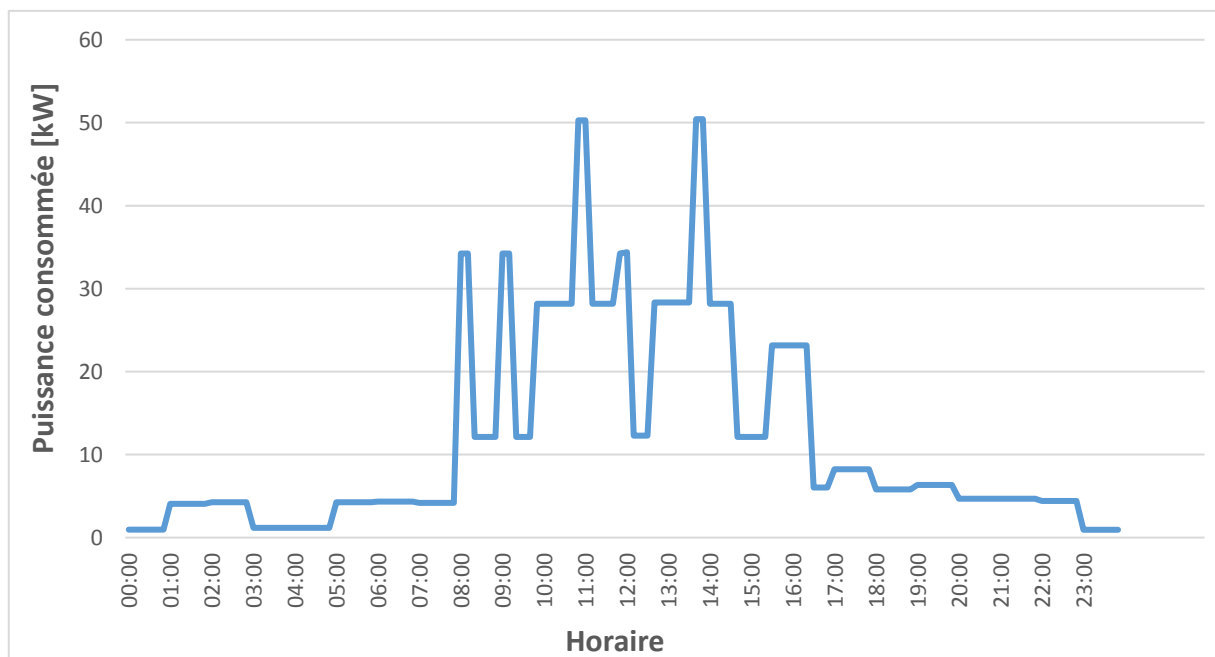
En **annexe 6** sont indiquées les énergies totales consommées par chaque consommateur divers, selon la période.

3.3 Consommation totale de l'usine

3.3.1 Courbes de charge

En période d'extraction

A l'aide des courbes de charge obtenues pour l'installation d'extraction d'huile et des consommateurs divers de l'usine (**graphiques 1 et 2**), la courbe de charge totale de l'usine pour 1 journée a pu être tracée dans le **graphique 4** ci-dessous. Des pas de temps de 10 minutes sont considérés :



Graphique 4 : courbe de charge de l'usine pour une journée type d'extraction

On remarque que la puissance maximale sur le **graphique 5** atteint 51 kW, de 10h50 à 11h et de 13h40 à 13h50.

Cette valeur n'est pas réaliste, car il n'est pas certain qu'à ces deux moments de la journée les consommateurs soient simultanément enclenchés, notamment les consommateurs divers de l'usine. Pour remédier le problème, la puissance maximale a été estimée par l'équation 5 ci-après :

$$P_{max.usine} = P_{max.instal.} + \overset{\text{coefficient de foisonnement}}{0.7} \cdot \left(\sum P_{conso.divers} - P_{kärcher} - P_{autolaveuse} \right)$$

Équation 5 : calcul de la puissance maximale consommée par l'usine

- $P_{max.usine}$: puissance maximale consommée par l'usine en [kW]
- $P_{max.instal.}$: puissance maximale consommée par l'installation d'extraction en [kW]
- $P_{conso.divers}$: puissance d'un consommateur divers de l'usine en [kW]
- $P_{kärcher}$: puissance du kärcher en [kW]
- $P_{autolaveuse}$: puissance de l'autolaveuse en [kW]

Les puissances du kärcher et de l'autolaveuse ont été soustraites aux autres puissances additionnées des consommateurs divers, car il n'est pas raisonnable de nettoyer l'installation d'extraction (avec le kärcher) ainsi que l'usine (avec l'autolaveuse) pendant que le processus d'extraction est en cours.

Quant au coefficient de foisonnement de **0.7**, celui-ci permet d'ajuster la puissance instantanée en la réduisant, car les consommateurs divers ne sont pas forcément tous enclenchés simultanément.

La puissance maximale consommée par l'usine est ainsi de **49 kW**. On peut admettre qu'elle reste proche des celle représentée au **graphique 5** de 51 kW.

Hors période d'extraction

La courbe de charge en dehors de la période d'extraction est semblable au **graphique 3**, où seuls les consommateurs divers de l'usine ont une influence, l'installation d'extraction n'étant pas enclenchée.

3.3.2 Consommation d'énergie

En additionnant les énergies obtenues par l'installation d'extraction et les consommateurs divers, on obtient l'énergie totale consommée par l'usine.

En période d'extraction, elle s'élève à **265 kWh**. Endehors de la période, elle est de **57 kWh** (semblable au 3.2.5).

3.4 Récapitulatif du chapitre

Les points ci-dessous résument les valeurs journalières importantes pour le dimensionnement.

En période d'extraction – De mars à août

- Puissance maximale requise par l'installation d'extraction = 44.26 kW
- Puissance maximale requise par les consommateurs divers = 8.23 kW
- **Puissance maximale totale requise par l'usine = 49.34 kW**
- Energie requise par l'installation d'extraction = 150.71 kWh
- Energie requise par les consommateurs divers = 114.05 kWh
- **Energie totale requise par l'usine = 264. 76 kWh**

Hors période d'extraction – De janvier à février, et de septembre à décembre

- Puissance maximale totale requise par l'usine = 4.46 kW
- Energie totale requise par l'usine = 57.33 kWh

Remarque

Tous les développements de calculs, les tableaux et les graphiques de ce chapitre sont disponibles en **annexe 7**.

4. Dimensionnement des moyens de production et de stockage

Le dimensionnement des installations de production et du stockage d'électricité a été réalisé sur la base des besoins électriques requis en période d'extraction d'huile, identifiés dans le précédent chapitre.

La **figure 5** ci-après rappelle les moyens de production et de stockage sur lesquels ont été entrepris les dimensionnements :

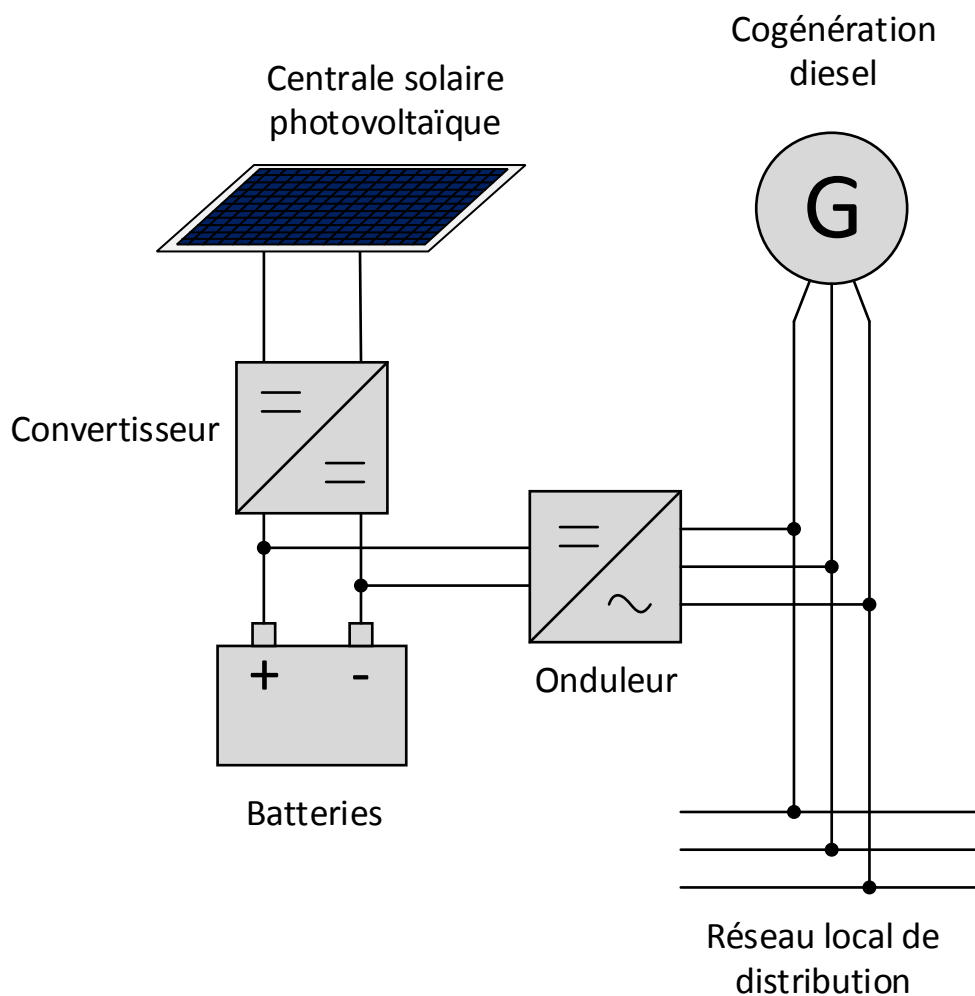


Figure 5 : schéma de principe des moyens de production et de stockage d'électricité

Notons que le stockage électrique sera assuré par des batteries. Les convertisseurs et onduleurs, permettant le raccordement de la centrale et des batteries au réseau local de distribution, devront également être dimensionnés.

4.1 Simulations

Pour obtenir un pré-dimensionnement de la centrale photovoltaïque et des batteries, plusieurs simulations basées sur des stratégies « itératives » ont été réalisées à l'aide du logiciel « Polysun » (version 10.2.3.26190). Concernant le groupe de cogénération diesel, plus communément appelé couplage chaleur-force (CCF), celui-ci doit à tout moment assurer l'approvisionnement thermique et électrique de l'usine. C'est pourquoi la puissance électrique du groupe a été pré-dimensionnée d'après la puissance maximale totale requise par l'usine (49.34 kW). En arrondissant, la puissance du CCF a été définie à **50 kW**.

4.1.1 Paramètres de configuration

Avant toute simulation, plusieurs paramètres ont été configurés dans le logiciel, à savoir :

Le site d'implantation de l'usine

Le placement de l'usine a été défini au même endroit que celui de la pré-étude. Il se situe entre les villages de Khonia et de Fanyetta. Le nom du site est « Baki » [8], comme illustré dans la figure 6 :



Figure 6 : lieu d'implantation de l'usine défini pour les simulations

Les données météorologiques et l'horizon

Ces données ont été obtenues à partir du logiciel « Météonorm », qui permet d'exporter des données météorologiques telles que l'évolution du rayonnement solaire, de la température, de la vitesse du vent et de l'humidité en fonction du temps. Elles sont primordiales pour pouvoir simuler les productions à partir d'énergie solaire. L'horizon, qui représente la direction et l'élévation du soleil en fonction du moment simulé, a également été fourni par le logiciel. En **annexe 8** se trouvent les divers fichiers obtenus par le logiciel « Météonorm ».

Le profil de consommation électrique

Pour obtenir des résultats quantitatifs en fonction des productions simulées, le logiciel requiert un profil de consommation électrique sur 1 année, avec des pas de temps de 1h. Ainsi, à l'aide des courbes de charges de l'usine obtenues au **chapitre 3**, un profil de consommation annuel a pu être établi et importé dans le logiciel « Polysun ». Notons que la consommation annuelle de l'usine s'élève à près de **60 MWh**. Le fichier importé se trouve en **annexe 8**.

Le réseau local de distribution

Le réseau local de distribution a été configuré en réseau triphasé 230V/400V, 50 Hz, pour un couplage en étoile. L'usine étant dépourvue de tout réseau électrique public, le réseau local est paramétré en îlotage.

Les champs photovoltaïques

Plusieurs champs de modules photovoltaïques peuvent être dimensionnés dans le logiciel. Pour ce faire, 2 champs, différenciés par leur orientation azimuth, ont été pré-dimensionnés pour chaque stratégie. Pour cette étude, il a été défini que le faîte³ de l'usine serait orienté en plein sud ; le premier champ de modules posé sur le pan ouest de la toiture est ainsi orienté à -90° (plein ouest), tandis que le deuxième champ posé sur le pan opposé est s'oriente à $+90^\circ$ (plein est). Les 2 pans de toiture ont une inclinaison de 5° .

La **figure 7** schématise la disposition des 2 champs :

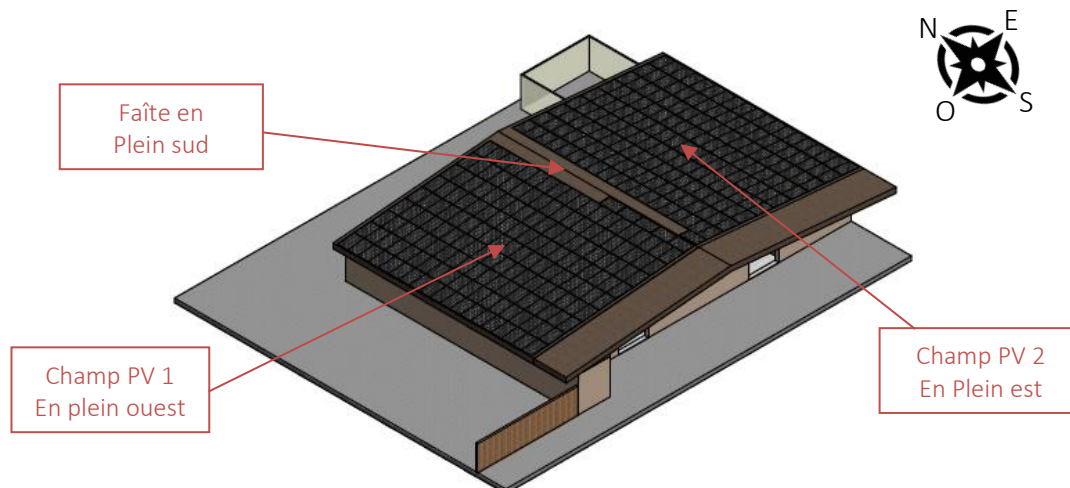


Figure 7 : orientation des champs photovoltaïques pour chaque stratégie

Les mêmes modules photovoltaïques et batteries ont été sélectionnés parmi ceux disponibles dans le catalogue du logiciel. Les caractéristiques principales des équipements sélectionnés sont disponibles en **annexe 9**. Pour faciliter le raccordement des modules au réseau local de distribution, des micro-onduleurs adaptés pour chaque module ont été sélectionnés dans le catalogue.

³ Le faîte correspond à l'arrête la plus élevée d'une toiture

4.1.2 Réglage programmable

La production d'électricité à partir de la centrale photovoltaïque, des batteries et du CCF, doit être gérée intelligemment, de même que le stockage dans les batteries. Pour ce faire, un élément nommé « réglage programmable » dans « Polysun » a été programmé, afin de gérer les flux d'électricité de la manière la plus réaliste. La logique de l'élément gérant les différentes installations a été réfléchi de la manière suivante :

Groupe de cogénération diesel (CCF)

En admettant que le CCF puisse moduler sa puissance électrique de 60 % à 100 % de sa puissance maximale (50 kW), la valeur minimale qu'il doit fournir a été réglée à 30 kW. Afin d'éviter que la durée de vie du groupe diminue en raison d'enclenchements/déclenchements répétés, celui-ci doit au minimum fonctionner 2h lorsqu'il s'enclenche.

Batteries

Si la centrale photovoltaïque produit plus d'électricité qu'en consomme l'usine d'extraction, les batteries sont chargées par la surproduction de la centrale. Si, en plus d'une surproduction d'électricité de la centrale photovoltaïque, le CCF est en train de fonctionner, les batteries sont chargées à la fois par la surproduction solaire et par toute la puissance du CCF.

Au contraire, si la centrale ne produit pas suffisamment d'électricité pour les consommateurs, les batteries sont déchargées pour fournir la puissance manquante, pour autant que leur SOC⁴ soit supérieur à 11 %, limite minimale de charge pour les batteries sélectionnées (voir les caractéristiques en **annexe 9**). En cas de SOC inférieur à 11 %, le CCF fournit la puissance aux consommateurs.

Si la centrale solaire ne produit pas assez d'électricité pour les consommateurs, que le SOC est supérieur à 11 %, mais que le CCF est en train de fonctionner, les batteries ne sont pas déchargées ; elles sont chargées par la puissance du CCF non-consommée par les consommateurs.

Remarque

Le cas d'un manque de puissance à fournir à partir des batteries ne peut pas se produire. Le pré-dimensionnement des batteries propose en effet une puissance maximale de déchargement d'au moins 36 kW, selon les différentes stratégies définies. Cette valeur est ainsi suffisante.

⁴ « StateOfCharge » : état de charge des batteries

4.1.3 Stratégies simulées

Afin d'avoir une idée du dimensionnement qui doit être entrepris pour les moyens de production et de stockage, 6 stratégies dites « itératives »⁵, pour lesquelles des variables ont été modifiées, ont fait l'objet de simulations.

Le **tableau 11** ci-dessous présente les variables qui ont été modifiées selon les stratégies :

	Variable	Stratégie 1	Stratégie 2	Stratégie 3	Stratégie 4	Stratégie 5	Stratégie 6
Centrale photovoltaïque	Nombre de PV [-]	170	170	340	366	370	370
	Puissance 1 PV [W]	300	300	300	300	300	300
	Surface 1 PV [m ²]	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64
	Puissance centrale [kW]	50.99	50.99	101.97	109.77	111.00	111.00
	Surface centrale [m ²]	278.8	278.8	557.6	600.24	606.8	606.8
Stockage électrique	Puissance max. chargement 1 batterie [kW]	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Puissance max. déchargement 1 batterie [kW]	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Capacité 1 batterie [kWh]	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8
	SOC min [-]	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Nombre de batteries [-]	0	9	17	17	15	15
	Puissance max. chargement batteries [kW]	0	36.00	68.00	68.00	60.00	60.00
	Puissance max. déchargement batteries [kW]	0	36.00	68.00	68.00	60.00	60.00
	Capacité totale batteries [kWh]	0	124.20	234.60	234.60	207.00	207.00
CCF	Puissance [kW]	50	50	50	50	50	50
	Puissance min. fournie [kW]	30	30	30	30	30	50

Tableau 11 : stratégies simulées selon les variables modifiées

En **annexe 10** est disponible le schéma de principe (présenté dans « Polysun) de la stratégie 6, celui-ci ayant uniquement les valeurs des variables différentes par rapport aux autres stratégies.

4.2 Résultats des simulations

A la suite des simulations, divers résultats ont été obtenus. Pour faciliter le choix du pré-dimensionnement adéquat, des indicateurs de performance (KPI) ont été utilisés. Ces KPI, exprimés en %, sont définis par les équations suivantes :

$$KPI\ 1 = \text{Taux autarcie}_{ER} = \frac{\text{Prod. ER autoconsommée}}{\text{Consommation électrique}}$$

$$KPI\ 2 = \text{Taux autarcie}_{CCF} = \frac{\text{Prod. CCF autoconsommée}}{\text{Consommation électrique}}$$

$$KPI\ 3 = \text{Fréquence enclenchement}_{CCF} = \frac{\text{Nombre heures CCF enclenché}}{\text{Nombre heures 1 an}}$$

$$KPI\ 4 = \text{Taux autoconsommation}_{PV} = \frac{\text{Prod. PV autoconsommée}}{\text{Prod. PV Totale}}$$

⁵ Itératives car elles ont toutes été simulées dans l'ordre en fonction des résultats obtenus pour chaque stratégie.

$$KPI\ 5 = \text{Taux PV à stocker} = \frac{\text{Prod. PV à stocker}}{\text{Prod. PV Totale}}$$

$$KPI\ 6 = \text{Taux autarcie}_{PV} = \frac{\text{Prod. PV autoconsommée}}{\text{Consommation électrique}}$$

$$KPI\ 7 = \text{Taux autarcie}_{batteries} = \frac{\text{Prod. batteries autoconsommée}}{\text{Consommation électrique}}$$

$$KPI\ 8 = \text{Taux autoconsommation}_{CCF} = \frac{\text{Prod. CCF autoconsommée}}{\text{Prod. CCF Totale}}$$

$$KPI\ 9 = \text{Taux CCF à stocker} = \frac{\text{Prod. CCF à stocker}}{\text{Prod. CCF Totale}}$$

Remarque

« ER » est l'abréviation utilisée pour la production venant d'énergie renouvelable. Cela tient compte des productions à partir de la centrale photovoltaïque (PV) ainsi que des batteries.

Le **tableau 12** donne les résultats des KPI pour chaque stratégie simulée :

KPI	Stratégie 1		Stratégie 2		Stratégie 3		Stratégie 4		Stratégie 5		Stratégie 6	
1	65.94%	-	93.84%	-	99.25%	-	99.41%	-	99.40%	-	99.59%	-
2	34.06%	-	5.89%	-	0.72%	-	0.56%	-	0.44%	-	0.39%	-
3	77.99%	292 allumages	8.15%	180 allumages	0.95%	21 allumages	0.77%	17 allumages	0.77%	17 allumages	0.50%	11 allumages
4	84.09%	-	84.09%	-	48.82%	-	46.37%	-	46.05%	-	46.05%	-
5	15.91%	-	15.91%	-	51.18%	-	53.63%	-	53.95%	-	53.95%	-
6	-	-	65.94%	-	77.78%	-	78.43%	-	78.61%	-	78.61%	-
7	-	-	27.90%	-	21.47%	-	20.98%	-	20.79%	-	20.98%	-
8	-	-	26.56%	-	27.79%	-	26.83%	-	21.04%	-	18.22%	-
9	-	-	73.44%	-	72.21%	-	73.17%	-	78.96%	-	81.78%	-

Tableau 12 : résultats des KPI obtenus pour chaque stratégie

Notons que les nombres d'allumages du groupe CCF pour toutes les stratégies n'ont été calculés qu'à partir du KPI 3.

4.2.1 Stratégie retenue

Le choix de la stratégie la plus adéquate, et donc du pré-dimensionnement a été opéré d'après les critères suivants :

- Le taux d'autarcie ER (KPI 1) doit être maximal.
- Le taux d'autarcie CCF (KPI 2) doit être minimum.
- La fréquence d'enclenchement du CCF (KPI 3) pendant la période d'extraction doit être proche de 0.54 %.

Le 3^{ème} critère est basé sur l'hypothèse suivante : pour garantir que le groupe de cogénération diesel est apte à fonctionner à tout moment, il est jugé nécessaire de l'enclencher chaque 2 semaines pendant 2h, ce pendant la période d'extraction. La période d'extraction dure 6 mois, de mars à août, soit 4416h. Si l'on veut enclencher le groupe pendant 2h chaque 2 semaines, le temps total d'enclenchement sur les 4416h est de 24h. Ainsi, la fréquence d'enclenchement du CCF s'élève à 0.54 %, pour 12 enclenchements.

Stratégies 1 et 2

Ces 2 stratégies peuvent être éliminées sans trop d'hésitation, leur fréquence d'enclenchement CCF étant trop élevée. A partir de la stratégie 2, on remarque que le taux d'autarcie ER (KPI 1) augmente fortement ; ce phénomène est dû à l'ajout de batteries, celles-ci n'ayant pas été utilisées pour la simulation de la 1^{ère} stratégie.

Stratégie 3

A partir de la stratégie 3, les fréquences d'enclenchement commencent à se rapprocher de la valeur à atteindre (0.54 %). La stratégie 3 a été définie en doublant les variables de la stratégie 2. Malgré un nombre d'enclenchements du groupe faible (21), la fréquence d'enclenchement reste trop élevée pour sélectionner cette stratégie 3.

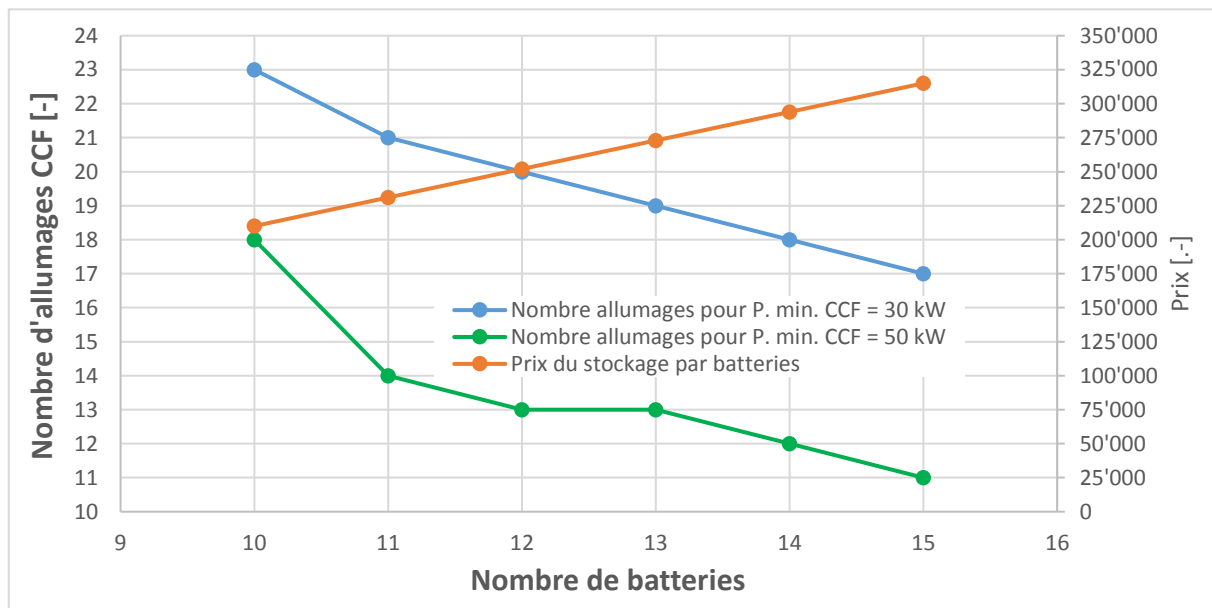
Stratégies 4 et 5

Ces 2 stratégies ont des résultats pratiquement semblables, même si elles sont définies différemment ; la stratégie 4 possède une capacité de batteries plus grande pour un nombre de modules photovoltaïques inférieur à la stratégie 5. La quantité de modules pour la stratégie 5 a été fixée au maximum selon la surface maximale disponible, égal à 608 m² selon la pré-étude. On remarque que le taux d'autarcie pour la stratégie 5 est légèrement plus faible que celui de la 4^{ème} stratégie. Cela indique que l'utilisation du groupe de cogénération est moindre. Le fait que la stratégie 5 soit définie par un plus grand nombre de modules et une capacité plus petite de batteries rend cette stratégie plus attractive, le prix des installations se voyant baissé.

Stratégie 5 et 6

Toutes les variables pour ces 2 stratégies sont identiques, à l'exception de la puissance minimale fournie par le groupe de cogénération, qui a été modifiée dans le réglage programmable (voir **chapitre 4.1.2**) à 50 kW. Avec cette modification, toute l'électricité non consommée lorsque le groupe fonctionne peut être stockée et réutilisée par la suite. Ainsi, le nombre d'allumages pour cette dernière stratégie se voit réduit à 11. Cela correspond à une fréquence d'enclenchement (KIP 3) de 0.5 %, valeur inférieure à celle attendue de 0.54 %. C'est pourquoi, la **stratégie 6** semble la plus attrayante pour le dimensionnement des installations.

Le nombre d'allumages du groupe de cogénération est influencé par le nombre de batteries, car plus le stockage électrique est grand, moins le groupe sera enclenché. Comme démontré à l'aide des stratégies 5 et 6, le nombre d'allumages est aussi dépendant de la puissance minimale que fournit le groupe ; le **graphique 5**, ci-dessous, démontre l'influence que présentent le nombre de batteries dimensionnées et la puissance minimale fournie par le groupe sur le nombre d'allumages. Le prix en fonction du nombre de batteries est également présenté (prix d'une batterie $\approx 21'000.-$ [9]) :



Graphique 2 : influence du nombre de batteries et de la puissance max. fournie par le CCF sur le nombre d'allumage du CCF

Admettons que le nombre d'allumages que nous voulons atteindre est de 18 : si la puissance minimale du groupe est réglée à 50 kW (courbe verte), 10 batteries seront suffisantes pour atteindre les 18 allumages, avec un prix d'achat des batteries d'environ 200'000.- (courbe orange). Si la puissance minimale du groupe est réglée à 30 kW (courbe bleue), alors 4 batteries supplémentaires seront nécessaires pour atteindre les 18 allumages, faisant augmenter le prix d'achat de près de 80'000.-.

Remarque

Dans la réalité, les fréquences d'enclenchements CCF seront toujours supérieures à celles obtenues pour les différentes stratégies, car il n'a pas été possible de simuler un enclenchement du groupe chaque 2 semaines (comme décrit par l'hypothèse du 3^{ème} critère). Le groupe a été configuré par le réglage programmable de manière à ce qu'il s'enclenche uniquement en fonction du SOC des batteries et de la production solaire (voir **chapitre 4.1.2**).

A la suite du développement de ce chapitre, la **stratégie 6** est considérée comme la plus adéquate pour le dimensionnement des installations.

4.3 Centrale solaire photovoltaïque

4.3.1 Module photovoltaïque

Afin de dimensionner la centrale photovoltaïque, un module adapté à l'usine a dû être sélectionné. Pour ce faire, des modules photovoltaïques intégrés au bâti ont été choisis. L'intégration des modules au bâti permet de substituer la couverture d'un toit traditionnel, en assurant la même étanchéité qu'avec un toit de tuiles.

Le module sélectionné est fourni et produit en Allemagne par l'entreprise « AxSun Solar », spécialisée dans les modules intégrés. Le **tableau 13** donne les principales caractéristiques :

Fabricant	AxSun Solar
Désignation	AX M-60 305
Type	Monocristallin
Rendement en STC	17.61%
P_{MPP STC} [W]	305
Surface brute [m²]	1.73196
Système de montage	Solrif
Prix [.-/unité]	370
Prix matériel montage [.-/unité]	90

Tableau 13 : principales caractéristiques du module sélectionné

Les prix ont été obtenus par l'entreprise suisse « Fankhauser ».

Les modules avec système de montage « Solrif » sont des modules standards reconnus, montés avec un châssis en profilés spéciaux, qui sont étanches à l'eau par collage. Les châssis en question s'emboîtent l'un dans l'autre et permettent l'évacuation de l'eau de la toiture.

La **figure 8** donne un aperçu des éléments de montage pour les systèmes « Solrif » :

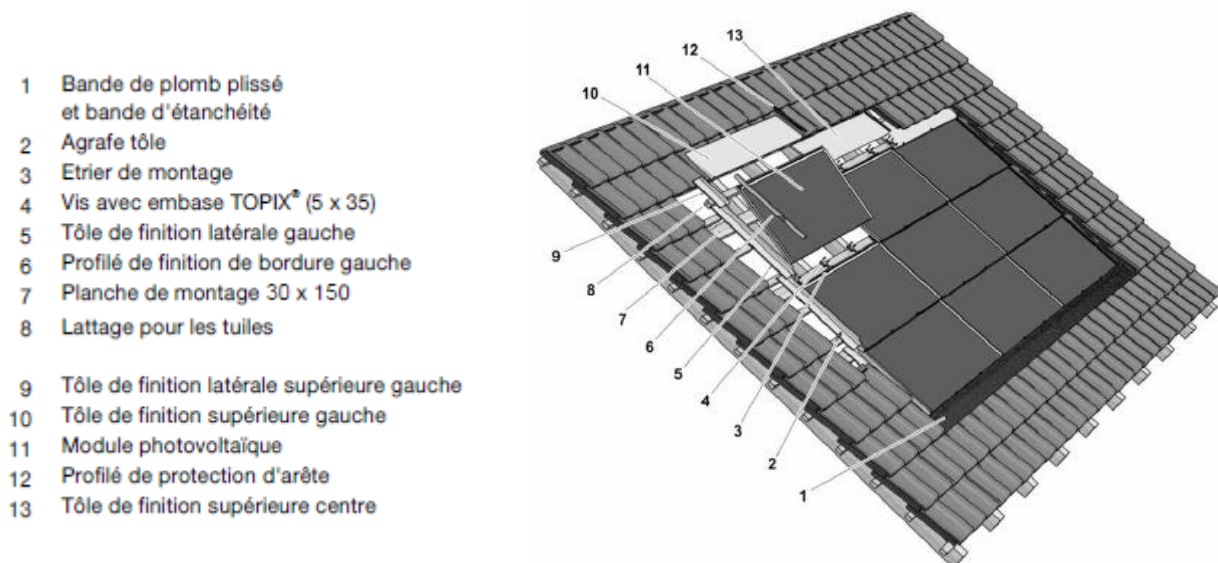


Figure 8 : éléments de montage du système « Solrif »

Le prix du matériel de montage considère tous les éléments de la **figure 8**, à l'exception de la planche de montage 30 x 150 (7) et des tôles de finition (9 et 10), qui sont des éléments fournis et facturés par le ferblantier.

La datasheet du module ainsi que le manuel des instructions de montage pour les systèmes « Solrif » sont disponibles en **annexe 11**.

Quantité prévue

D'après le **chapitre 4.1.3**, la quantité pré-dimensionnée de modules, selon la stratégie 6 retenue, s'élève à 370 unités, pour une surface maximale d'environ 607 m². La surface maximale de toiture de l'usine qui peut être recouverte a été définie d'après la surface au sol de l'usine, égale à 608 m² (voir les plans de l'usine définis lors de la pré-étude, **annexe 2**).

Il incombe de redéfinir le nombre de modules pouvant recouvrir la toiture, car les dimensions des panneaux « AxSun Solar » ne sont pas les mêmes que celles des modules « TrinaSolar » utilisés pour les simulations. Prenant en considération les surfaces du module « AxSun Solar » et de la toiture maximale disponible, 348 modules peuvent être intégrés au bâti.

Les caractéristiques finales de la centrale solaire avec les modules « AxSun Solar » sont énumérées dans le **tableau 14** ci-dessous :

Nombre de PV [-]	348
Puissance 1 PV [W]	305
Surface 1 PV [m ²]	1.73
Puissance centrale [kW]	106
Surface centrale [m ²]	603

Tableau 14 : caractéristiques centrale photovoltaïques finale

4.3.2 Onduleur solaire

D'après le **chapitre 5** développé par la suite, le raccordement de la centrale photovoltaïque au réseau local de distribution d'électricité et aux batteries est prévu par l'intermédiaire d'un onduleur solaire « ABB » (voir le chapitre pour plus de détails). Cette entreprise helvético-suédoise développe de plus en plus de projets dans les pays d'Afrique, c'est pourquoi elle a été sélectionnée.

Les principales spécifications techniques de l'onduleur sont les suivantes (**tableau 15**) :

Général		
Fabricant	ABB	-
Désignation	Onduleur solaire PVS100-SX2	-
Entrée (raccordement des modules)		
Tension max.	1000	V
Puissance max. recommandée	105	kW
Nombre de MPPT	6	-
Nombre de paires d'entrées par MPPT	4	-
Puissance max. par MPPT	17.5	kW
Tension MPPT	480 - 850	V
Protection entrée		
Courant max. par MPPT	36	A
Courant de court-circuit max. par MPPT	50	A
Protection contre surtensions, parafoudre	Type 2 avec monitoring (SPD)	-
Interrupteur différentiel par MPPT	50	A
Fusible	15	A
Contrôle de courant string	24	chaînes
Sortie		
Tension nominale	3x400V/230V + N	-
Puissance max.	100	kW
Courant max. par MPPT	145	A
Section câble	185	mm ²
Protection sortie		
Protection courant max. externe	225	A
Protection contre surtensions, parafoudre	Type 2 avec monitoring (SPD)	-
Communication		
Interfaces intégrées	1x RS485, 2x Ethernet (RJ45), WLAN (2.4 GHz)	-
Interface utilisateur	4 LEDs, Web User Interface	-
Protocole	Modbus RTU/TCP	-
Environnement		
Indice de protection (IP)	IP	66 ⁶
Température ambiante	-25 - 60	°C
Dimensions (H x l x P)	0.869 x 1.086 x 0.419	m
Poids	70	kg

Tableau 15 : caractéristiques principales de l'onduleur solaire

L'onduleur solaire, du fait de sa puissance d'entrée et de sortie, est parfaitement adapté pour la centrale. De plus, les conditions d'environnement pour lesquelles il a été construit correspondent aux conditions en Guinée.

L'onduleur sera fixé sur des rails DIN dans le local technique.

⁶ IP 66 : totalement protégé contre les poussières et contre les jets d'eau de toutes directions à la lance

4.3.3 Raccordement des modules à l'onduleur

D'après le **tableau 14**, 348 modules doivent être raccordés à l'onduleur solaire. Le **tableau 16** suivant présente le raccordement envisagé des strings de modules à l'onduleur :

	# PV	Entrée MPPT	# PV en série	Uoc [V] < 1000 V	Umax [V] < 850 V	Isc < 50 A	I _{max} < 36 A	Puissance max [W] < 17.5 kW
MPPT1	60	IN1	15	610.95	496.80	39.40	36.84	18.30
		IN2	15	610.95	496.80			
		IN3	15	610.95	496.80			
		IN4	15	610.95	496.80			
MPPT2	60	IN1	15	610.95	496.80	39.40	36.84	18.30
		IN2	15	610.95	496.80			
		IN3	15	610.95	496.80			
		IN4	15	610.95	496.80			
MPPT3	56	IN1	14	570.22	463.68	39.40	36.84	17.08
		IN2	14	570.22	463.68			
		IN3	14	570.22	463.68			
		IN4	14	570.22	463.68			
MPPT4	60	IN1	15	610.95	496.80	39.40	36.84	18.30
		IN2	15	610.95	496.80			
		IN3	15	610.95	496.80			
		IN4	15	610.95	496.80			
MPPT5	56	IN1	14	570.22	463.68	39.40	36.84	17.08
		IN2	14	570.22	463.68			
		IN3	14	570.22	463.68			
		IN4	14	570.22	463.68			
MPPT6	56	IN1	14	570.22	463.68	39.40	36.84	17.08
		IN2	14	570.22	463.68			
		IN3	14	570.22	463.68			
		IN4	14	570.22	463.68			

Tableau 16 : raccordement des strings de modules à l'onduleur

Les strings⁷ ont été dimensionnés de manière que les tensions, les courants et les puissances ne dépassent pas les valeurs requises par l'onduleur solaire. On remarque dans le **tableau 16** que les puissances maximums par MPPT dépassent légèrement la puissance maximale requise par l'onduleur (17.5 kW). Ceci n'a que peu d'influence, car il est rare, voir impossible, que ces puissances soient atteintes.

D'après le raccordement établi dans le **tableau 16**, 4 strings de modules en séries sont connectés en parallèle pour chaque MPPT (de l'entrée « IN1 à IN4 »). L'onduleur possède 6 MPPT, ainsi, 24 strings de modules sont répartis sur les 6 MPPT.

⁷ Un string désigne une série de modules photovoltaïques connectés électriquement en série.

4.3.4 Implantation des modules à la toiture

Théoriquement, la centrale photovoltaïque peut couvrir la toiture de l'usine, car sa surface est inférieure aux 608 m² de toiture. Cependant, les dimensions de longueur et de largeur du module ne permettent pas de configurer l'implantation de la centrale de manière à ce qu'elle couvre les 608 m² de toiture comme il se veut.

La **figure 9** (échelle non-respectée) donne une illustration de la complication :

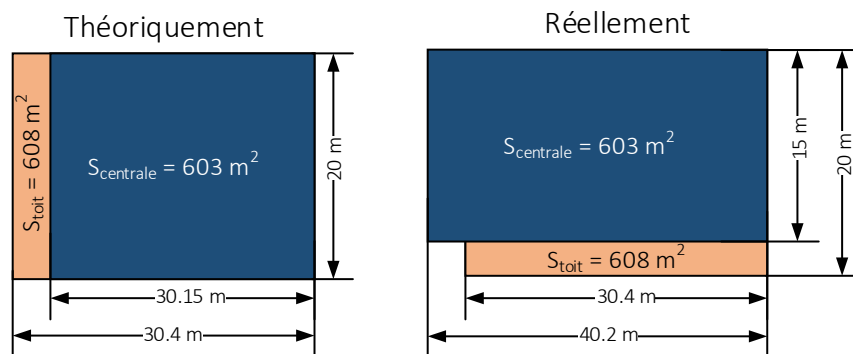


Figure 9 : illustration de la complication concernant l'implantation de la centrale à la toiture

Pour remédier au problème, il a été décidé que la surface maximale disponible de la toiture serait de 660 m². Cette décision est justifiée, car la surface de 608 m² retenue lors de la pré-étude, représente la surface au sol de l'usine. Une surface de 660 m² est ainsi réaliste, considérant un avant-toit à l'entrée de l'usine qui s'avance jusqu'au local du gardien, ainsi que 2 avant-toits côtés ouest et est.

L'implantation des modules en toiture a été configurée en fonction du raccordement des strings aux MPPT de l'onduleur solaire.

Le **tableau 15** suivant donne le détail de l'implantation des modules en toiture :

	MPPT	Quantité modules / MPPT	Quantité modules / pan	Surface centrale / pan [m ²]
Pan ouest	1	60	176	305
	2	60		
	3	56		
Pan est	4	60	172	298
	5	56		
	6	56		
Totaux sur toute la toiture			348	603

La surface non couverte par les modules de 57 m² représente principalement l'avant-toit de l'entrée de l'usine.

La **figure 10** illustre l'implantation des modules à la toiture :

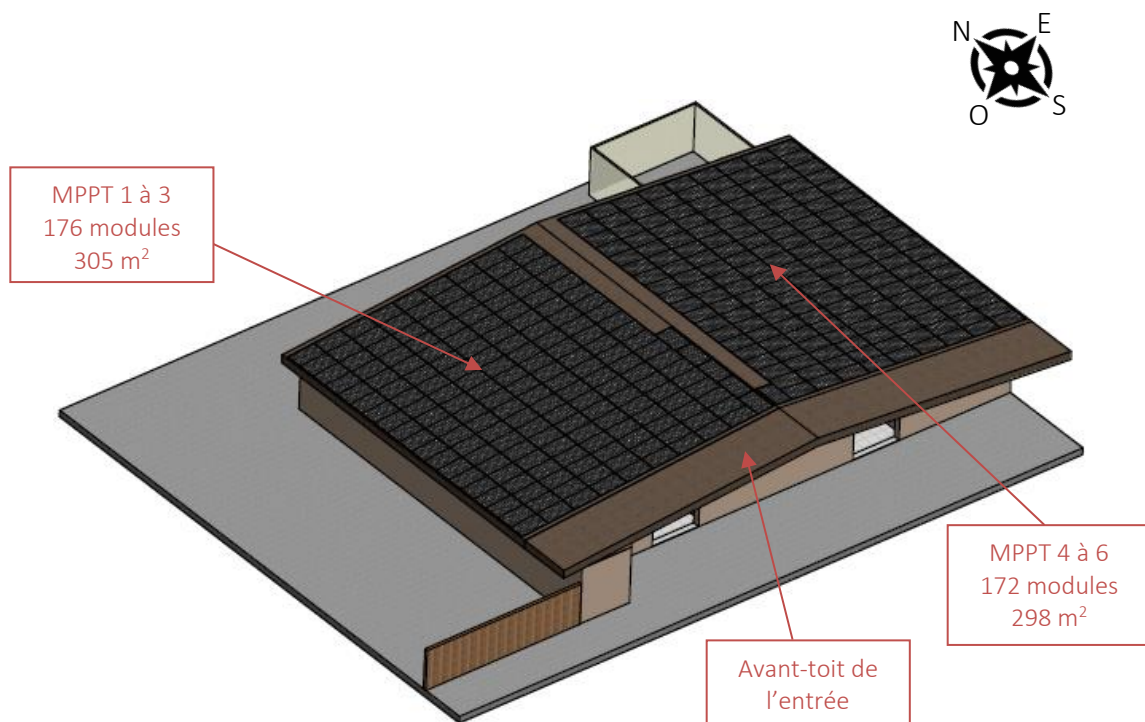


Figure 10 : implantation des modules à la toiture

Les plans détaillés d'implantation des modules pour les 2 pans sont disponibles en **annexe 12**.

4.4 Stockage par batteries

Le dimensionnement du stockage par batteries n'a pas été entrepris sur la base de la stratégie 6. Dans le **chapitre 5** est développé la gestion de production des éléments de production et de stockage. Pour ce faire, un composant « MicroGridSystem » de l'entreprise « ABB », a été sélectionné pour gérer les installations. C'est ainsi à partir des caractéristiques de cet élément qu'a été entrepris le dimensionnement du stockage par batteries.

4.4.1 Batterie

Un modèle de batterie de 12 V fourni par l'entreprise belge « SuperB » a été sélectionné. L'entreprise en question est connue internationalement, et le modèle est compatible avec le « MicroGridSystem ». Les caractéristiques principales sont énumérées dans le **tableau 16** :

Fabricant	SuperB	-
Désignation	SB12V160E-ZC	-
Type	LiFePO4	-
Energie	1.92	Wh
Capacité nominale	160	Ah
Tension nominale	12	V
Courant charge max.	160	A
Courant décharge max.	480	A
Gestion	BMS intégré	-
Câbles	2 x 95	mm ²
Fusible intégré	70V/500 A	-
Surveillances batteries	Interface CAN Open	-
Température charge	0 - 45	°C
Température décharge	-65	°C
Dimension (h x l x e)	314 x 417 x 227	mm
Poids	28.3	kg

Tableau 17 : caractéristiques principales des batteries « SuperB »

Le prix d'une batterie est d'environ 2'660.-, d'après l'entreprise « SwissGreen ».

4.4.2 Section convertisseur chargeur

Le raccordement des batteries au réseau local de distribution est prévu par l'intermédiaire d'une section « convertisseur et chargeur » du « MicrogridSystem » développé au **chapitre 5**. En voici les caractéristiques principales (**tableau 18**) :

Technologies compatibles	VRLA, Ni-Cd, Li-ion	-
Energie max.	552	kWh
Capacité max.	240	Ah
Quantité de batteries max. par string	48	-
Quantité de strings en // max.	4	-
Puissance de charge max.	48	kW
Tension nominale	504 - 576	V
Courant de charge max.	96	A
Courant de décharge max.	116	A
Protection	MCB	-

Tableau 18 : caractéristiques de la section "convertisseur chargeur" du "MicroGridSystem"

4.4.3 Raccordement des batteries à la section convertisseur chargeur

D'après le **tableau 18**, la quantité de batteries requises ainsi que le raccordement envisagé des strings de batteries au convertisseur chargeur ont pu être déterminés. Il est prévu que 2 strings de 48 batteries en série soient raccordés en parallèle. Avec ce dimensionnement, les valeurs définies dans le **tableau 18** sont respectées.

Ainsi, les caractéristiques finales du stockage électrique avec les batteries « SuperB » sont énumérées dans le **tableau 19** ci-dessous :

Quantité totale de batteries	96	-
Energie	184	Wh
Capacité	160	Ah
Tension totale nominale	576	V
Puissance de charge max.	48	kW
Puissance de décharge max.	67	kW
Courant de charge max.	96 A	A
Courant de décharge max.	116 A	A

Tableau 19 : caractéristiques du stockage par batteries

Les batteries pourraient être placées soit dans le local technique, soit dans un des couloirs de l'usine, afin qu'elles soient ventilées de manière naturelle. En effet, si elles sont placées dans le couloir entre les locaux de transformation et le local technique, et qu'une fenêtre puisse être placée dans la direction du couloir, elles pourraient être naturellement ventilées.

La **figure 11** présente l'endroit potentiel où seraient placées les batteries :

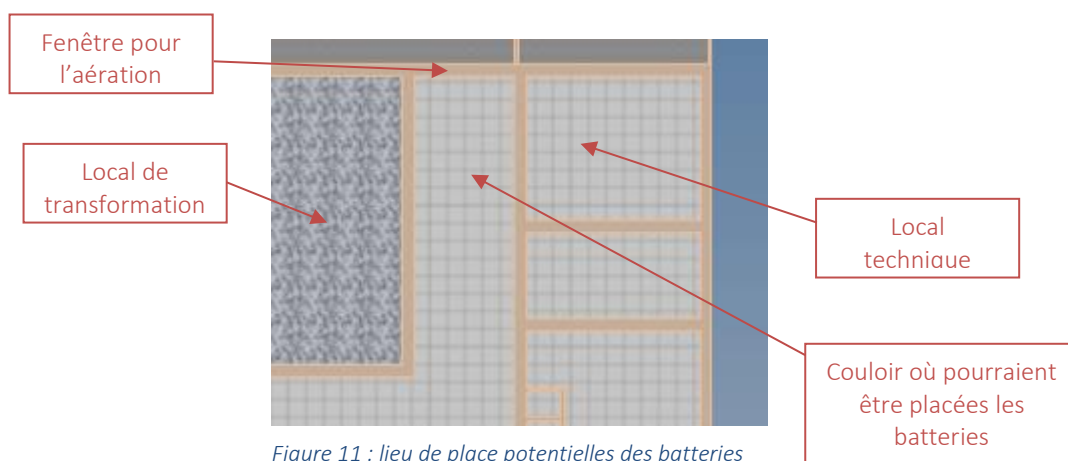


Figure 11 : lieu de place potentielles des batteries

4.5 Groupe de cogénération diesel

Le groupe de cogénération diesel (CCF), devant assurer à tout moment l'approvisionnement électrique de l'usine, doit être dimensionné selon la puissance maximale requise par l'usine. Sa puissance doit ainsi être de minimum 50 kW.

4.5.1 Sélection du groupe

Lors de la pré-étude, le fabricant « Gelec » avait été mentionné. Sur la base de la puissance de 50 kW dimensionnée, le CCF diesel « Panther-70YC », d'une puissance électrique de 53 kW, a été sélectionné pour le travail de M. Djafar. Il pourrait également être sélectionné pour ce travail, mais le but a été de rechercher un groupe fourni par une entreprise représentée en Afrique.

L'entreprise américaine « Cummins », spécialiste dans les groupes électrogènes, est présente dans le monde entier, notamment en Afrique de l'Ouest, au Sénégal. Ce critère est un réel avantage pour l'usine qui pourrait avoir facilement de l'assistance sur place quant au groupe.

Une demande d'offre a été effectuée à l'entreprise « Aksa », représentante de « Cummins » en Suisse. L'entreprise propose uniquement des groupes électrogènes, mais elle a la possibilité de modifier ces groupes de manière à ce que la chaleur puisse également être récupérée, tel un groupe de cogénération. A la suite, des renseignements transmis à l'entreprise concernant les besoins électriques et thermiques, une offre « estimative » a été effectuée. Les caractéristiques principales du groupe proposé sont les suivantes :

- Modèle : C110 D5
- Tension de sortie de la génératrice : 230V/400V triphasé, 50 Hz
- Puissance continue : 80 kWe, 110 kVA
- Moteur : Cummins
- Batterie de démarrage : 100 Ah
- Capacité du réservoir carburant : 350 litres (14 h de consommation)
- Dimensions (L x l x h) : 2268 mm x 1094 mm x 1576 mm
- Poids plein : 1574 kg
- Capot anti-bruit
- Options supplémentaires incluses dans l'offre:
 - 1 échangeur de 40 kW monté sur le groupe
 - Connexion échangeur de chaleur sur moteur entièrement installé

Une commande manuelle du groupe est possible. Une entrée pour la commande de démarrage à distance est également incluse dans l'offre. Concernant le lieu où doit être installé le CCF, celui-ci peut être posé à l'extérieur.

Le prix de l'offre s'élève ainsi à 32'500.-

Remarque

L'offre propose un groupe de 80 kWe. Il a été mentionné par le collaborateur ayant transmis l'offre, que le groupe proposant une plus petite puissance électrique de 65 kWe n'est commercialement pas intéressant. En effet, il ne coûte que 500.- de moins pour le même moteur, mais avec une génératrice plus petite. Le prochain groupe plus petit est un groupe de 48kWe, dont la puissance thermique exploitable n'est que de 21.2kW ; elle est ainsi inférieure à la puissance thermique de 34 kW transmise pour la demande d'offre.

Toutes les informations relatives aux CCF « Gelec » et « Cummines » sont en **annexe 11**.

5. Gestion de production électrique

Pour l'étude, il a été nécessaire de trouver une solution concrète, qui permette de gérer intelligemment la production et le stockage d'électricité à partir des installations dimensionnées, tel que le fait le « réglage programmable » du logiciel de simulation « Polysun.

Pour ce faire, plusieurs recherches ont été entreprises ; l'entreprise « ABB » a développé, il y a quelques années, un équipement nommé « MicroGridSystem » (MGS), qui permet justement de gérer plusieurs sources de production d'électricité et de stockage d'électricité, en réseau îloté ou connecté à un réseau externe. Le système a déjà été utilisé pour des projets réalisés en Afrique, et est parfaitement adapté pour l'usine d'extraction d'huile. C'est ainsi qu'a été étudié l'élément en question, pour lequel un appel d'offre a été entrepris.

5.1 Description du système MGS100

Le système MGS100 est un équipement qui permet de gérer l'électricité produite à la fois par une centrale solaire et un groupe électrogène ou un réseau électrique, pour pouvoir la fournir à des consommateurs électriques. Il inclut également la gestion du stockage d'électricité par batteries.



Figure 12 : vue d'un MGS100-60

Concrètement, le MGS100 contient 2 sections différentes :

- Une section onduleur solaire, qui permet le raccordement de la centrale solaire au réseau local de distribution.
- Une section convertisseur chargeur, qui permet le chargement/déchargement des batteries, ainsi que la fourniture d'électricité aux consommateurs.

Ces 2 sections sont gérées de manière intelligente à l'aide d'un automate interne au MGS. Tous les flux d'électricité sont enregistrés par l'automate à l'aide de compteurs d'énergie. Un contrôle à distance permet à l'utilisateur d'avoir une vue monitorée des flux d'énergie.

La **figure 13** ci-après présente le schéma de principe du MGS :

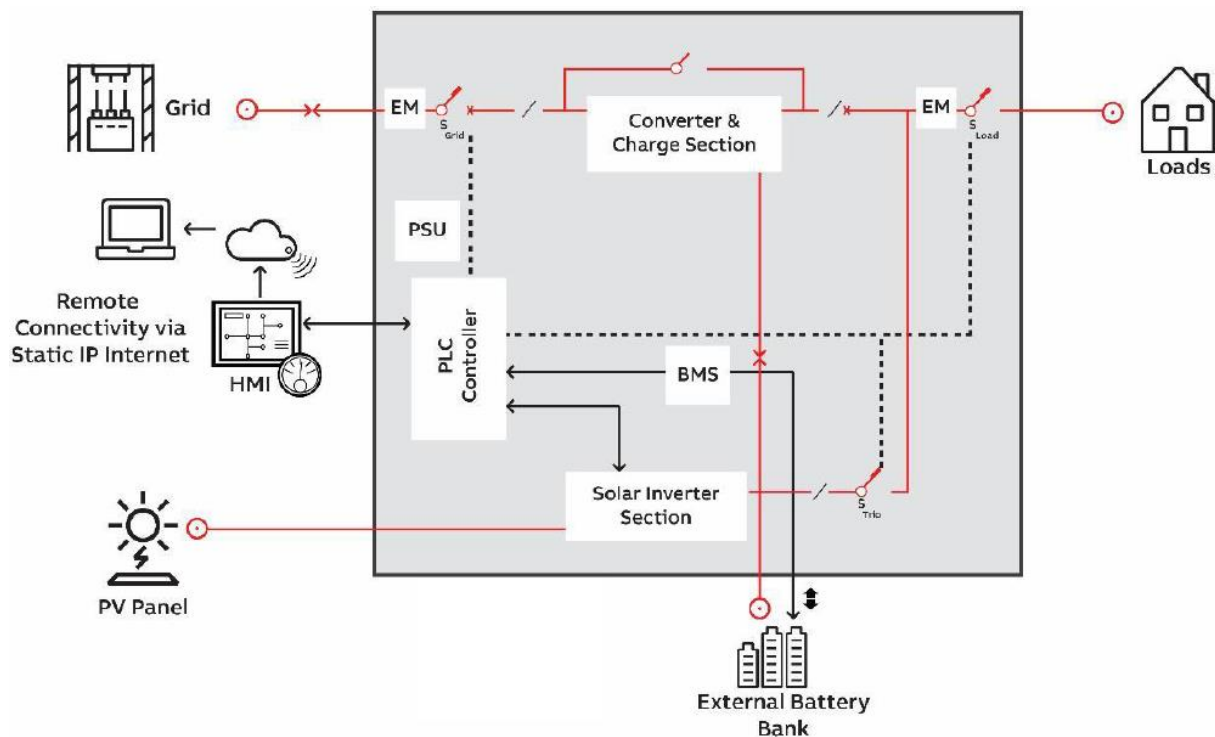


Figure 13 : schéma de principe du gestionnaire de production et stockage électrique MGS100

Sur la figure ci-dessus, le réseau (Grid) peut être substitué par un générateur électrique. Dans le cas de cette étude, le groupe de cogénération diesel y serait connecté. Les abréviations « EM » sont utilisées pour définir les compteurs d'énergie (Energy Measure). L'abréviation « BMS » signifie Battery Management System ; cette fonction de gestion des batteries est assurée par le contrôleur, également désignée automate.

5.2 Sélection du MGS

Plusieurs MGS définis selon les puissances d'entrée solaire sont disponibles. C'est pourquoi un appel d'offre a été transmis à l'entreprise, pour que celle-ci puisse fournir les données du MGS adéquat.

L'offre a été faite pour le MGS100-80/100. Elle est disponible en **annexe 13**. Tous les documents d'informations techniques y sont également disponibles. Le prix s'élève à 55'000.-.

5.3 Section onduleur solaire

La section onduleur solaire est simplement un onduleur indépendant, qui permet le raccordement de la centrale photovoltaïque au réseau local de distribution. Les caractéristiques sont indiquées au **tableau 15**.

5.4 Section convertisseur chargeur

Cette section, composée de 2 convertisseurs et d'un chargeur batterie, fait partie intégrante du MGS. Toutefois, pour le moment, les numéros de série des divers convertisseurs et chargeurs qui le composent ne sont pas encore connus. Les caractéristiques sont cependant connues et indiquées au **tableau 18**.

Electriquement, le schéma de principe du MGS peut être assimilé à la **figure 14** :

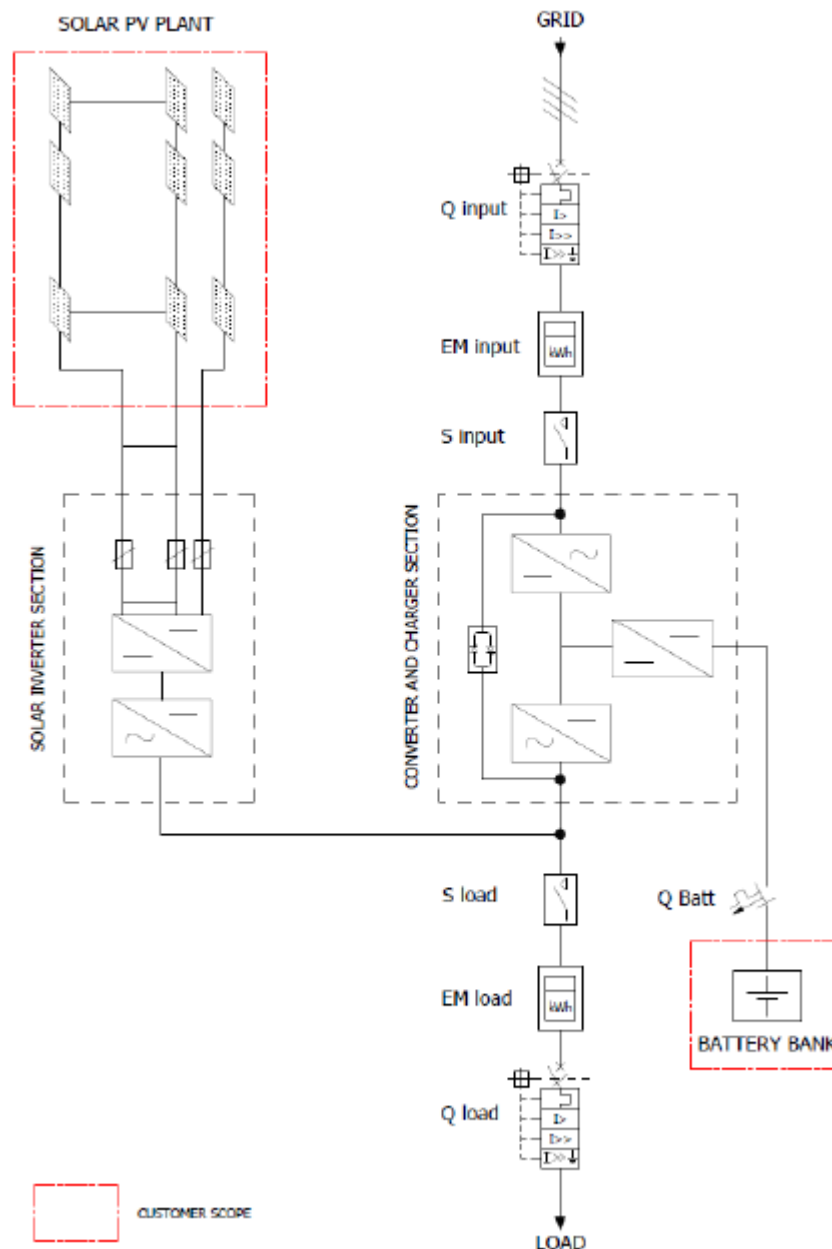


Figure 14 : schéma de principe des équipements électriques du MGS

Remarque

Notons qu'une certaine logique de gestion, programmée dans l'automate interne du MGS, permet de gérer les divers producteurs et batteries selon des modes opératoires bien définis. Ils ne feront pas l'objet d'une description dans ce rapport, mais leur description est disponible aux pages 32 à 36 du document « ABB_MGS100_Manuel » fourni en annexe informatique (annexe 13).

6. Accès à internet

Les consommateurs de l'usine comportent des ordinateurs, qui requièrent un accès à internet. Le MGS (**chapitre 5**) a également besoin d'un accès à internet pour pouvoir envoyer les informations monitorées. On peut également imaginer que des habitants des villages alentours à l'usine pourraient consulter des informations en ligne sur leurs téléphones portables, l'usine ayant un espace dédié aux villageois.

Le lieu d'implantation pour ce projet étant dépourvu d'accès à internet, il a été nécessaire de développer de manière conceptuelle un réseau internet.

6.1 Accès par satellite

Pour accéder à internet, une solution par satellite a été optée. L'entreprise belge « Global TT » est un téléport basé à Bruxelles, et offre un accès internet par satellite partout en Afrique, en Bandes-C et Ku. Ces bandes représentent des longueurs d'ondes par lesquelles sont transférées les données internet. L'entreprise a plus de 25 ans d'expérience sur l'Afrique, elle est ainsi une solution réaliste pour fournir un accès internet.

Un appel d'offre a été demandé à l'entreprise. La solution envisagée est présentée dans la **figure 15** suivante :

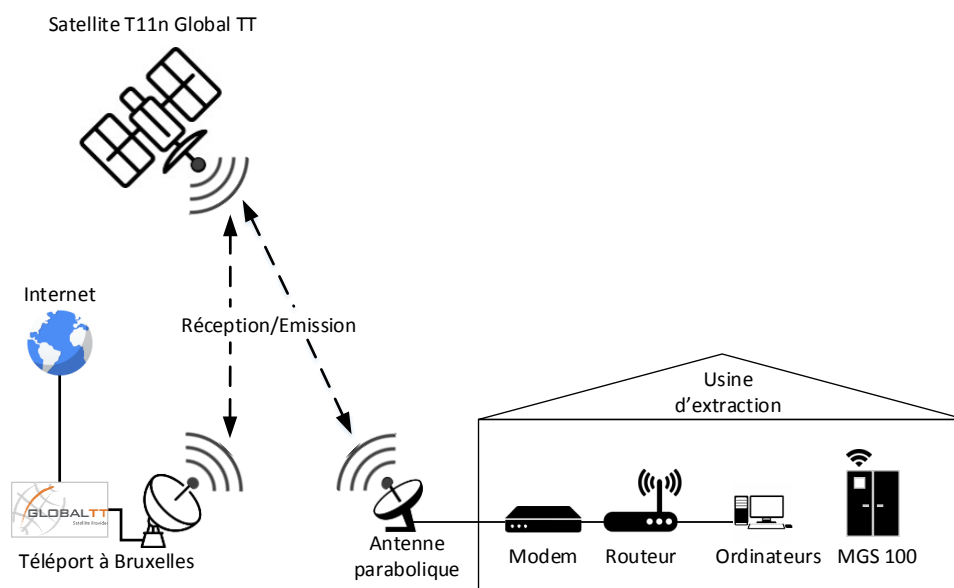


Figure 15 : solution conceptuelle d'accès à internet

Plusieurs composants de la gamme « Vsat », qui serviront à l'accès à internet sont nécessaires, à savoir :

- 1 antenne de 1.2 m
- 1 modem iFast-IP
- 1 récepteur et 1 émetteur
- 1 kit de protection contre la foudre
- 1 routeur wifi
- Des câbles pour la connexion du récepteur et de l'émetteur au modem

La solution est proposée à 1'500.- pour les équipements, en plus d'un abonnement à 250.- par mois.

6.2 Réseau local internet

Le réseau internet local de l'usine a été conçu (**figure 16**), l'accès à internet étant fourni par le satellite. Le réseau en question permet de fournir l'accès à internet aux équipements qui y sont connectés, à savoir :

- Les 2 ordinateurs fixes (connecté par câbles Ethernet)
- L'ordinateur du gardien de nuit
- D'autres ordinateurs portables des villageois
- Les téléphones portables des villageois (connectés en wifi)
- Le MGS100 (wifi ou Ethernet)

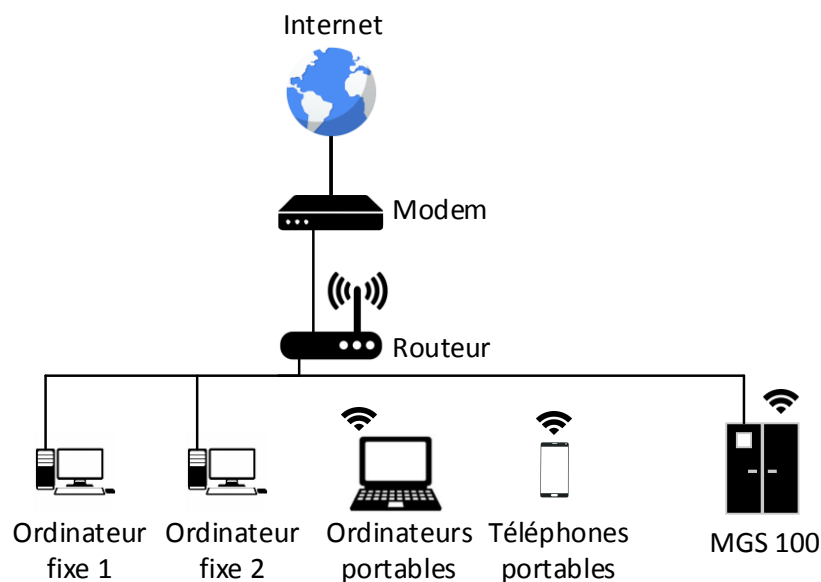


Figure 16 : réseau local internet de l'usine

Notons que l'accès à internet du MGS100 n'est pas encore défini. En effet, normalement, l'accès à internet pour le MGS est obtenu par ADSL. Cette connexion n'étant pas présente au lieu d'implantation de l'usine, il a été demandé à l'entreprise « ABB » si le MGS pouvait fonctionner par connexion satellite. Ce point est encore en suspens.

7. Evaluation des coûts

Une évaluation des coûts de toutes les installations étudiées pour ce travail a été menée, d'après les prix obtenus par les offres et mentionnés dans les chapitres précédents. Notons que le prix de l'installation d'extraction n'est pas pris en compte, celui-ci n'étant pas connu.

Le **tableau 10** donne la liste des coûts des diverses installations :

Equipement	Fabricant	N° de série	Quantité	Prix unitaire [.-]	Prix total [.-]
Module photovoltaïque	AxSunSolar	AX M-60 305	348	370.00	128 760.00
Matériel de montage Solrif pour module photovoltaïque	AxSunSolar	-	348	90.00	31 320.00
Batterie	SuperB	SB12V160E-ZC	96	2 660.00	255 360.00
Groupe de cogénération diesel	Cummins	C110 D5	1	32 500.00	32 500.00
Système de gestion MGS100	ABB	MGS100-80/100+S101+S102	1	53 000.00	53 000.00
Installation et assistance à la mise en service du MGS100	ABB	-	1	2 000.00	2 000.00
Equipements pour connexion à internet par satellite	GlobalTT	Gamme iFast-KU	1	1500	1 500.00
Service/Abonnement à internet	GlobalTT	-	12 mois	250 / mois	3 000.00
Total					507 440.00

Tableau 20 : liste des équipements et des coûts

Pour le service de l'abonnement à internet par satellite, une année a été considérée. Notons que le montage des modules n'est pas pris en considération.

Le prix total des installations s'élève ainsi à près de **510'000.-**. Cette valeur reste une estimation, mais donne une idée assez réaliste.

IV. POINTS OUVERTS

Des points encore en suspens pourraient par la suite être développés dans de prochains travaux. La liste ci-dessous dresse les points encore ouverts :

- Il serait intéressant de pouvoir simuler les diverses installations de production et de stockage finalement dimensionnées pour cette étude, à l'aide du logiciel « Polysun ».
- Pour avoir une idée encore plus réaliste de l'influence du dimensionnement des installations de cette étude, les modes opératoires du MGS devraient être simulés à l'aide d'un logiciel adéquat.
- Des nouvelles machines d'extraction d'huile « Emile Noël » ont été sélectionnées pour le projet Kibili. Il serait ainsi intéressant de redimensionner les installations de production et de stockage en fonction des besoins de ces nouvelles machines, sachant que l'usine sera probablement connectée à un réseau électrique public.
- Un dimensionnement de détail du réseau électrique de l'installation pourrait être entrepris.
- Un travail concernant la partie architecturale de l'usine pourrait être développé.

V. CONCLUSION

Lors de cette étude de l'approvisionnement électrique de l'installation d'extraction d'huile, plusieurs aspects ont été traités et définis. Pendant la période d'extraction de l'huile, allant de mars à août, la puissance totale requise par l'usine s'élève à environ 50 kW, pour une consommation d'énergie journalière de 265 kWh. D'après les besoins électriques de l'usine identifiés, un pré-dimensionnement a été mené à l'aide de simulations ; d'après le pré-dimensionnement, une fréquence d'enclenchement du groupe de cogénération diesel de 0.5% sur la période d'extraction a été atteinte. Cela signifie que le nombre d'heures pour lesquelles le groupe a été enclenché pendant la période d'extraction s'élève uniquement à 22h. D'après les dimensions surfaciques de l'usine, une centrale solaire photovoltaïque de 603 m² produisant 106 kW de puissance maximale a été finalement dimensionnée. Quant au stockage électrique, un parc de 96 batteries a été dimensionné, celui-ci ayant une capacité de 180 kWh. Un groupe de cogénération diesel de 80 kW électrique a été sélectionné ; celui-ci délivre certes plus de puissance qu'en demandent les consommateurs, mais une solution avec une puissance plus basse n'aurait pas été intéressante d'un point de vue financier.

Pour gérer la production d'électricité à partir de la centrale solaire et du groupe de cogénération, l'équipement « MGS100 » de l'entreprise « ABB » a été sélectionné. L'équipement en question permet également de gérer le stockage des batteries. Il contient tous les équipements permettant de raccorder les diverses installations au réseau local électrique de distribution. Une solution par satellite permet de fournir l'accès à internet aux équipements nécessitant une connexion, notamment l'équipement de gestion « MGS100 ».

Le coût total de toutes les installations, à l'exception de l'installation d'extraction d'huile, s'élève à environ 510'000.-.

Cette étude pourrait se poursuivre, en adaptant les installations de production et de stockage en fonction de l'équipement « MGS100 », et en tenant compte des nouveaux aspects du projet Kibili.

Date et signature

VI. BIBLIOGRAPHIE

- [1] ENFANTS DES COLLINES, « Présentation du projet » dans *Projet Kibili Présenté par Enfants des collines*, p. 11.
- [2] ENFANTS DES COLLINES, « Le projet » dans *Kibili*, <http://kibili.ch/le-projet/>, page consultée le 14 juin 2018.
- [3] ENFANTS DES COLLINES, « La valorisation des pertes post-récoltes de l'avocat par sa transformation en huile » dans *L'huile d'avocat, un levier de développement pour la Guinée*, p. 6.
- [4] ENERGIE⁺, « La chaleur spécifique des aliments » dans *Energie+*, <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11439#c3936>, page consultée le 7 juin 2018.
- [5] LEGIFRANCE, « Chapitre III : Eclairage, ambiance thermique » article R4223-4 dans *Legifrance.gouv.fr*, <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?idSectionTA=LEGISCTA00018532273&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20091222>, page consultée le 30 mai 2018.
- [6] ADDIS COMPOSANTS ELECTRONIQUES, « Puissance, flux lumineux et angle lumineux » dans *Addislighting*, <https://addislighting.com/technologie-led/puissance-flux-lumineux-et-angle-lumineux/>, page consultée le 30 mai 2018.
- [7] ENERGIE⁺, « Que consomment les équipements » dans *Energie+*, <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=9657>, page consultée le 1 juin 2018.
- [8] GOOGLE MAPS, coordonnée du site : 10.116167, -13.126101, page consultée le 12 juin 2018.
- [9] EUROPE-SOLARSHOP, « Varta Engion Fmily Max 13.8 kWh » dans *Europe-Solarshop.com*, <http://www.europe-solarshop.com/varta-engion-family-max-13-8-kwh.html>, page consultée le 6 juillet 2018.

Annexes

ANNEXE 1: ORGANISATION	II
ANNEXE 2: PRÉ-ÉTUDE	II
ANNEXE 3: BILAN DES ESSAIS DE TRITURATION SUR AVOCATS	II
ANNEXE 4: DOCUMENTATION INSTALLATION D'EXTRACTION D'HUILE.....	II
ANNEXE 5: DATASHEET CARTE D'ALIMENTATION « SIEMENS ».....	II
ANNEXE 6: CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE.....	II
ANNEXE 7: DÉVELOPPEMENTS – CONSOMMATIONS ÉLECTRIQUES.....	III
ANNEXE 8: FICHIERS MÉTÉONORM ET PROFIL DE CONSOMMATION.....	IV
ANNEXE 9: MODULES PHOTOVOLTAÏQUES ET BATTERIES SÉLECTIONNÉS POUR LES SIMULATIONS.....	IV
ANNEXE 10: SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA STRATÉGIE 6.....	V
ANNEXE 11: INFORMATIONS TECHNIQUES DES MOYENS DE PRODUCTION ET DE STOCKAGE	V
ANNEXE 12: PLANS D'IMPLANTATION DES MODULES.....	V
ANNEXE 13: DOCUMENTS RELATIFS AU MGS.....	XIII

Les annexes en format informatique sont disponibles dans le dossier électronique « 12. Rapport » du CD-ROM. Le CD-ROM contient également tous les documents ayant permis le développement du projet.

Annexe 1: Organisation

Le fichier « Charges_Planif_Journaux » comprenant le cahier des charges, le planning Gantt et les journaux de travail est disponible en format informatique.

Annexe 2: Pré-étude

La documentation électronique « TD_Kibili_2017 » relative au travail de bachelor 2017 ainsi que le fichier de résumé de la pré-étude « Résumé pré-étude » sont disponibles en format informatique.

Annexe 3: Bilan des essais de trituration sur avocats

Le document « Bilan essais triturations sur avocats » présentant entre autres les étapes d'extraction d'huile est disponible en format informatique.

Annexe 4: Documentation installation d'extraction d'huile

Les datasheets, modes d'emploi et schéma électrique de l'installation d'extraction d'huile Alfa Oliver 500 ainsi que de la laveuse sont disponibles en format informatique.

Annexe 5: Datasheet carte d'alimentation « Siemens »

La datasheet du composant est disponible en format informatique. Celle-ci indique ainsi une puissance fournie de 192 W.

Annexe 6: Consommations d'énergie

Installation d'extraction d'huile

Le tableau suivant présente les énergies instantanées consommées chaque heure par l'installation d'extraction d'huile. Les valeurs de la colonne « Sans réchauffeurs » ont été calculées d'après le **point 1** du **chapitre 3.1.2** ; celles de la colonne « Avec réchauffeurs » d'après le **point 3** du même chapitre.

Heure	Sans réchauffeurs	Avec réchauffeurs
	E _{inst.} [kWh]	E _{inst.} [kWh]
08:00	8.47	13.94
09:00	10.31	15.79
10:00	15.84	21.31
11:00	17.68	23.15
12:00	8.47	13.94
13:00	19.52	24.99
14:00	8.47	13.94
15:00	6.63	12.10
16:00	6.08	11.55
Energie totale consommée [kWh]		150.71

Consommateurs divers

En période d'extraction

Consommateur	Temps de fonctionnement [h]	Plages de fonctionnement	E _{tot.} [kWh]
Pompe d'extraction "Grundfoss"	20	1h-3h, 5h-23h	61.40
Système solaire thermique	20	1h-3h, 5h-23h	0.03
Filtre UVC	20	1h-3h, 5h-23h	0.84
Groupe froid	12	8h-20h	19.60
Kärcher	0.5	17h-17h30	1.50
Autolaveuse	0.5	17h-17h30	0.93
Locaux de transformation, bureaux, vestiaires, cantine, local gardien	2	7h-7h30, 12h30-13h30, 18h-18h30	0.57
Locaux stockage + Local technique + Couloirs + Espace groupe cogénération	4	6h-7h, 19h-22h	1.09
Espace pour le gardien de nuit	11.5	0h-6h30, 19h-23h59	0.43
Espace pour les villageois	4	19h-23h	0.20
Ordinateur pour le gardien de nuit	8	2h-6h, 19h-23h	1.60
Ordinateur fixe	10.5	0h-23h59	4.20
Imprimante	0.5	17h-17h30	0.14
Automate	4	19h-23h	0.40
Chargeur téléphone portable	24	0h-23h59	9.12
Matériel automate	24	0h-23h59	12.00
Energie totale consommée par tous les consommateurs divers [kWh]			114.05

Hors période d'extraction

Consommateur	Temps de fonctionnement [h]	Plages de fonctionnement	E _{tot.} [kWh]
Pompe d'extraction "Grundfoss"	10	8h-14h, 19h-23h	30.70
Système solaire thermique	9	0h-3h, 12h-13h, 19h-23h59	0.02
Filtre UVC	10	8h-14h, 19h-23h	0.42
Groupe froid	0	-	0.00
Kärcher	0	-	0.00
Autolaveuse	0	-	0.00
Locaux de transformation, bureaux, vestiaires, cantine, local gardien	0.5	19h-19h30	0.14
Locaux stockage + Local technique + Couloirs + Espace groupe cogénération	0.5	19h-19h30	0.14
Espace pour le gardien de nuit	0	-	0.00
Espace pour les villageois	4	19h-23h	0.20
Ordinateur pour le gardien de nuit	0	-	0.00
Ordinateur fixe	10.5	0h-23h59	4.20
Imprimante	0	-	0.00
Automate	4	19h-23h	0.40
Chargeur téléphone portable	24	0h-23h59	9.12
Matériel automate	24	0h-23h59	12.00
Energie totale consommée par tous les consommateurs divers [kWh]			57.33

Annexe 7: Développements – Consommations électriques

Le fichier « BesoinsElectriques » comprenant tous les développements, tableaux et graphiques est disponible en format informatique.

Annexe 8: Fichiers météo norm et profil de consommation

Les fichiers de données météorologiques, de l'horizon et le profil de consommation de l'usine importés dans Polysun sont disponibles en format informatique.

Annexe 9: Modules photovoltaïques et batteries sélectionnés pour les simulations

Panneaux photovoltaïques

Pour la simulation des stratégies, des panneaux solaires « TrinaSolar » ont été sélectionnés, dont les caractéristiques principales sont énumérées ci-dessous :

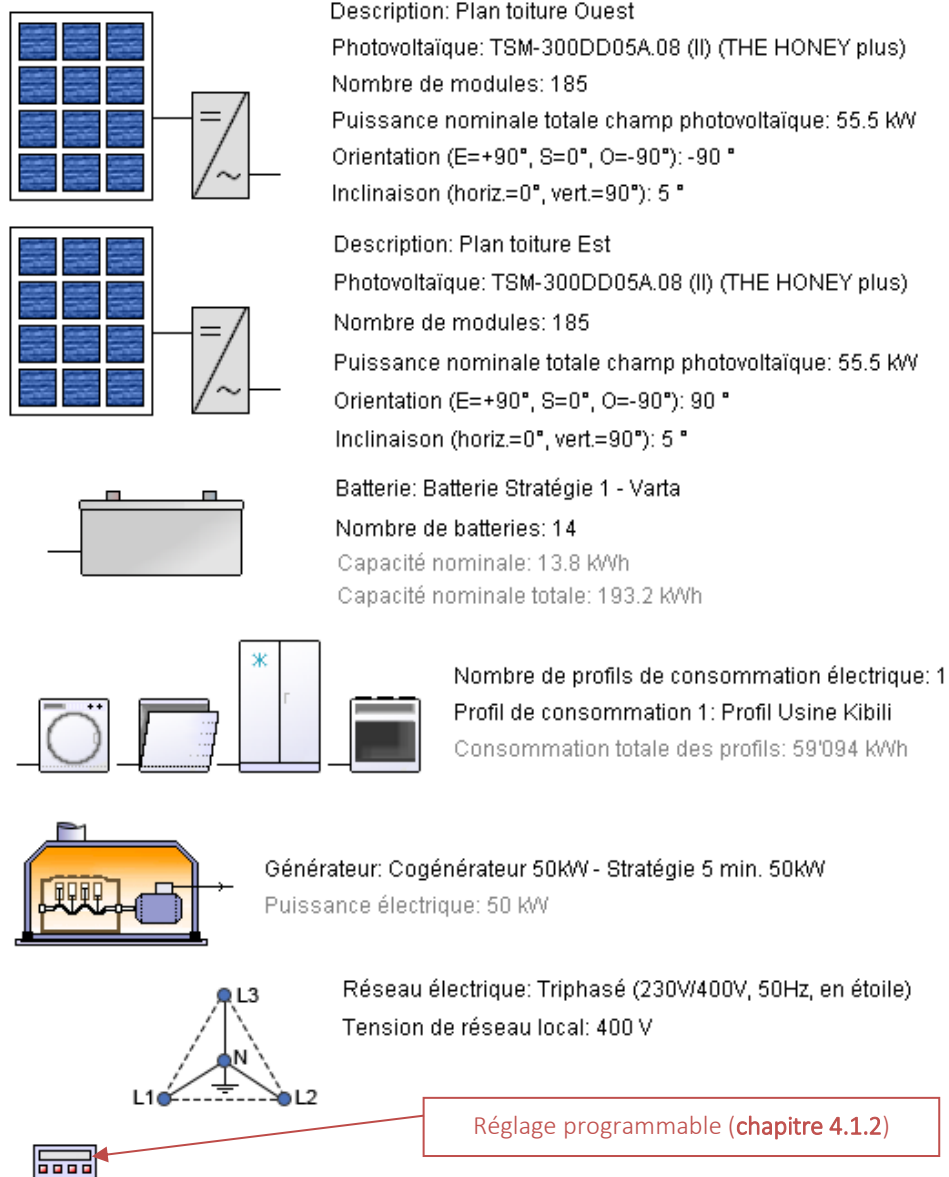
- Désignation : TSM-300DD05A.08(II)
- Type : monocristallin
- Rendement STC : 18.33 %
- P_{MPP} en STC : 300 W
- Surface : 1.64 m²

Batteries

Quant aux batteries, le fabricant « VartaStorage » a été sélectionné :

- Désignation : Engion Family 13.8 kW
- Type : LiFePO₄
- Capacité nominale : 13.8 kWh
- SOC minimal : 11 %
- $P_{charge\ max.}$: 4 kW
- $P_{décharge\ max.}$: 4 kW

Annexe 10: Schéma de principe de la stratégie 6



Annexe 11: Informations techniques des moyens de production et de stockage

Toutes les datasheets et manuels relatifs aux moyens de production et de stockage sont disponibles en format informatique.

Annexe 12: Plans d'implantation des modules

Les plans d'implantation des modules pour les pans ouest et est ainsi que le plan A3 de la vue générale sont disponibles aux pages suivantes.

Plan Pan Ouest

Plan pan Est

Plan général usine

Annexe 13: Documents relatifs au MGS

Tous les documents concernant le « MicroGridSystem » sont en format informatique.