

# Filière Energie et techniques environnementales

Orientation Energies renouvelables

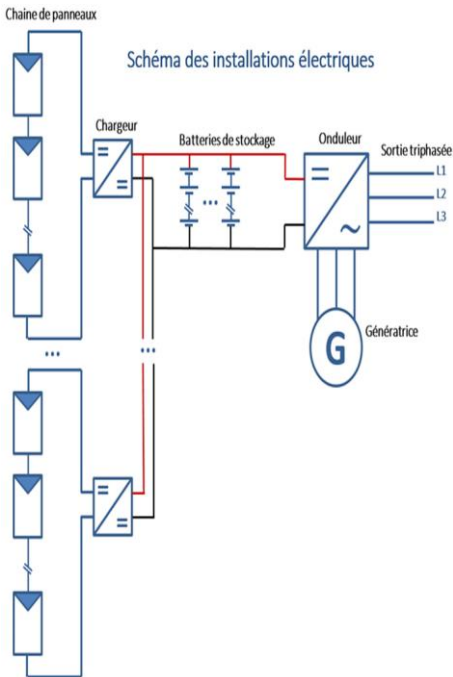
## Travail de bachelor Diplôme 2017

*Arnaud Bonard*

*Pré-étude de l'approvisionnement  
énergétique d'une installation d'extraction  
d'huile d'avocat en Guinée*

- *Professeurs*  
Nicolas Jordan  
Roger Röthlisberger
- *Expert*  
Clea Rupp
- *Date de la remise du rapport*  
18.08.2017

Ce rapport est l'original remis par l'étudiant.  
Il n'a pas été corrigé et peut donc contenir des inexactitudes ou des erreurs.



## Etude énergétique d'une usine d'avocat en Guinée

Diplômant/e **Arnaud Bonard**

### Objectif du projet

Étudier dans quelle mesure il est possible de fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement d'une usine d'extraction d'huile d'avocat, située en Guinée, en se basant principalement sur les énergies renouvelables.

### Méthodes | Expériences | Résultats

Une évaluation de la demande énergétique de l'usine sur une journée a été réalisée. Il a fallu étudier le processus d'extraction d'huile et identifier tous les autres consommateurs de l'usine (éclairage, appareils électroniques), permettant ainsi d'obtenir des courbes de consommation journalière avec comme valeurs : **150 kWh<sub>elec</sub>/jour, 72 kWh<sub>th</sub>/jour** et une puissance maximale de **34 kW**.

Une évaluation de la production électrique basée uniquement sur le solaire a été faite sur le logiciel PVsyst et de la production thermique sur Polysun. Plusieurs scénarios faisant varier les surfaces des panneaux et les capacités de stockage d'énergie ont été simulés et comparés afin d'en ressortir les plus adaptés pour le projet.

Il en est ressorti que, pour les scénarios simulés, la partie couverte par le solaire varie entre **75-100 %** de la demande d'énergie électrique et entre **60-80 %** de la demande d'énergie thermique.

Un des scénarios les plus réalistes consiste à avoir 200 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques, une capacité de stockage de 150 kWh et 30 m<sup>2</sup> de panneaux solaires thermiques, ceci combiné à un groupe cogénération de 40 kW, fonctionnant 2 h tous les 2 jours, permet une autonomie complète de l'usine.

Travail de diplôme  
 | édition 2017 |

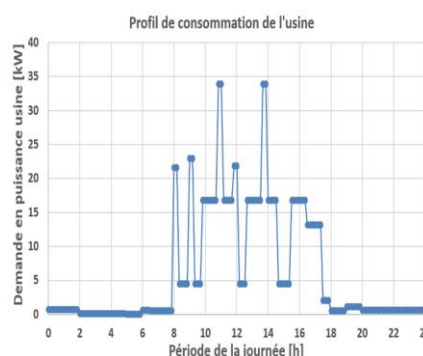
Filière  
*Energie et techniques  
 environnementales*

Domaine d'application  
*Energies renouvelables*

Professeur responsable  
 Prof. Nicolas Jordan  
 nicolas.jordan@hevs.ch

Prof. Dr. Roger Röthlisberger  
 roger.roethlisberger@heig-vd.ch

Partenaire  
 Association  
 « Enfants des collines »



Profil de consommation électrique de l'usine sur une journée type

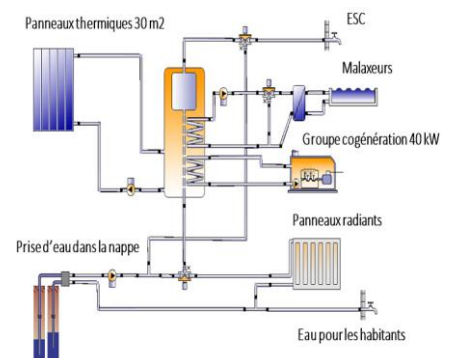


Schéma de principe de l'installation thermique de l'usine

## *Remerciements*

Je souhaite remercier toutes les personnes m'ayant aidé et accompagné durant mon travail.  
Je tiens particulièrement à remercier

- M. Roger Röthlisberger pour m'avoir conseillé et orienté dans la bonne direction durant toute la durée du travail.
- Mme Clea Rupp pour m'avoir donné toutes les informations concernant le projet Kibili.
- M. Nicolas Jordan qui était toujours très disponible pour le suivi du travail.
- M. Jean-Christophe Arnaudeau pour m'avoir donné toutes les informations concernant le fonctionnement des machines d'extraction d'huile.
- M. Sébastien Dervey pour son aide précieuse concernant toute la partie de production d'énergie solaire.
- M. Pierre-André Seppey pour son aide concernant l'isolation des bâtiments.
- M. Pierre-Olivier Moix pour ses informations sur les systèmes en îlotage et les installations photovoltaïques.

Ainsi que toutes les personnes ayant relu mon travail et corrigé les fautes de frappe et d'orthographe.

# *Table des matières*

I.	Introduction.....	11
II.	Structure du travail .....	12
	1. Cahier des charges .....	12
	2. Liste détaillée des tâches.....	12
	3. Planification.....	13
	3.1. Journal de travail .....	13
	3.2. Suivi de la planification.....	13
	4. Information quant à la pré-étude .....	13
III.	Développement du projet .....	14
	1. Contexte du projet .....	14
	1.1. Zone d'étude.....	14
	1.2. Climat dans la région .....	16
	1.3. Potentiel énergétique .....	18
	2. Usine d'extraction d'huile.....	21
	2.1. Placement de l'usine .....	21
	2.2. Dimensions de l'usine .....	22
	2.3. Plan d'implantation de l'usine .....	23
	3. Fonctionnement de l'usine.....	25
	3.1. Horaires de travail .....	25
	3.2. Processus d'extraction d'huile.....	25
	3.3. Machines d'extraction d'huile .....	27
	4. Demande énergétique .....	30
	4.1. Liste des consommateurs d'énergie électrique.....	30
	4.2. Calculs de consommation électrique .....	31
	4.3. Synthèse des consommations électrique .....	41
	4.4. Liste des consommateurs d'énergie thermique.....	43
	4.5. Calculs de consommation thermique.....	43
	4.6. Synthèse des consommations thermiques .....	45
	5. Production d'énergie électrique .....	45
	5.1. Dimensionnement de l'installation solaire photovoltaïque.....	46
	6. Production d'énergie thermique.....	52
	6.1. Dimensionnement de l'installation thermique.....	52
	6.2. Coût des installations thermiques .....	53

6.3. Bilan.....	54
7. Énergie mise à disposition des personnes locales .....	54
8. Réseau électrique.....	55
9. Scénarios développés .....	55
9.1. Scénario 1 .....	55
9.2. Scénario 2 .....	56
9.3. Scénario 3 .....	57
IV. Prochaines étapes .....	57
V. Conclusion .....	57
VI. Logiciels utilisés.....	58
VII. Références.....	58
VIII. Annexes .....	60
1. Format papier.....	60
2. Format informatique.....	60

## *Liste des figures*

<b>Figure 1</b> Localisation de la Guinée [3].....	14
<b>Figure 2</b> Localisation de la région étudiée [3] .....	15
<b>Figure 3</b> Commune rurale de Samaya [2].....	15
<b>Figure 4</b> Moyenne glissante par heure (région d'étude) [5] .....	17
<b>Figure 5</b> Données météo de Conakry de 1981 à 2010 (valeurs moyennes) [4] .....	17
<b>Figure 6</b> Courbe de puissance éolienne à axe vertical (300W) [10].....	20
<b>Figure 7</b> Localisation de l'usine pour l'étude [10] .....	21
<b>Figure 8</b> Schéma bloc de l'usine .....	23
<b>Figure 9</b> Côtés SUD / EST .....	23
<b>Figure 10</b> Côtés NORD / WEST .....	23
<b>Figure 11</b> Aperçu global de l'usine .....	24
<b>Figure 12</b> Usine vue de dessus .....	24
<b>Figure 13</b> Processus d'extraction (Les valeurs numériques sont des valeurs idéales et non pas réelles).....	26
<b>Figure 14</b> Alfa Oliver500 .....	27
<b>Figure 15</b> Simulation 2 : Séquençage sur une journée type [15] .....	28
<b>Figure 16</b> Allure de la consommation des machines d'extraction .....	32
<b>Figure 17</b> Plots de Ciment sans isolation + climatisation 20 W/m <sup>2</sup> .....	36
<b>Figure 18</b> Plots de Ciments avec 8cm isolation + climatisation 20 W/m <sup>2</sup> .....	36
<b>Figure 19</b> Plots de Ciment avec 8cm isolation et 20 cm de torchis + climatisation 20 W/m <sup>2</sup> ..	36
<b>Figure 20</b> Normes d'éclairage (LégiFrance) article R.4223-1 [22] .....	39
<b>Figure 21</b> Positionnement de l'installation solaire .....	47
<b>Figure 22</b> Valeurs optimales.....	47

<b>Figure 23</b> Schéma des installations électriques .....	49
<b>Figure 24</b> Schéma des installations thermiques.....	53
<b>Figure 25</b> Zone de distribution d'énergie pour les villageois.....	54
<b>Figure 26</b> Bilan de l'énergie thermique de l'usine sur une année.....	56
<b>Figure 27</b> Bilan de l'énergie électrique de l'usine sur une année .....	56

## *Table des tableaux*

<b>Tableau 1</b> Vitesses moyennes du vent dans la région de Kindia .....	19
<b>Tableau 2</b> Dimensions des salles de l'usine.....	22
<b>Tableau 3</b> Description des étapes du séquençage des machines .....	29
<b>Tableau 4</b> Durée des étapes de transformation .....	29
<b>Tableau 5</b> Valeurs technique des machines .....	31
<b>Tableau 6</b> Demande de chaque étape.....	32
<b>Tableau 7</b> Point de rosée de la région de Samaya [21].....	38
<b>Tableau 8</b> Puissance à installer .....	40
<b>Tableau 9</b> Consommation électrique d'une journée type.....	41
<b>Tableau 10</b> Détails des consommations électriques.....	42
<b>Tableau 11</b> Consommation de chaleur des malaxeurs.....	43
<b>Tableau 12</b> Consommation de chaleur du décanteur .....	44
<b>Tableau 13</b> Consommation de chaleur de la centrifugeuse .....	44
<b>Tableau 14</b> Consommation de chaleur des karchers.....	45
<b>Tableau 15</b> Bilan thermique de l'usine .....	45
<b>Tableau 16</b> caractéristique groupes cogénération GELEC.....	46
<b>Tableau 17</b> Résultats des simulations PVsyst .....	48
<b>Tableau 18</b> Prix des composants.....	50
<b>Tableau 19</b> Coûts du solaire PV.....	50
<b>Tableau 20</b> Coût de fonctionnement du groupe cogénération .....	51
<b>Tableau 21</b> Économies annuelles sur le diesel .....	51

## *Table des graphiques*

<b>Graphique 1</b> Données météo de Conakry de 1981 à 2010 (valeurs moyennes) [4] .....	16
<b>Graphique 2</b> Allure de la consommation d'électricité pour une journée type.....	42
<b>Graphique 3</b> Production solaire thermique.....	52

# I. Introduction

Ce travail de diplôme est mandaté par l'association « Enfants des collines » qui est une organisation humanitaire franco-suisse ayant pour objectif d'aider au développement des zones rurales au Bénin et en Guinée. Ce travail consiste à effectuer une pré-étude sur l'approvisionnement énergétique d'une installation d'extraction d'huile d'avocat située en Guinée.

Ce travail s'inscrit dans le projet Kibili, démarré par l'association en 2014 et a pour objectif de lutter contre la pauvreté et l'insécurité alimentaire dans la Commune rurale de Samaya en basse Guinée. Pour ce faire, l'association vise à valoriser au maximum les productions d'avocat, élément produit massivement dans la région. En effet, près de 50% de la production [1] n'arrive pas à être vendue. La logistique n'étant pas efficace ni efficiente dans le pays, les pertes dans le stockage et le transport sont conséquentes, les fruits périssent et s'abîment. L'idée est donc d'utiliser une partie des récoltes et de la transformer en huile afin de pouvoir commercialiser ces produits sur les marchés local (20%) et international (80%) [2], principalement en France et en Suisse. De ce fait, les agriculteurs augmenteraient leurs revenus et, ainsi, auraient les moyens d'améliorer leur niveau de vie. L'objectif du projet serait de pouvoir atteindre 160 familles de producteurs, ce qui toucherait environ 800 personnes [2].

Afin de réaliser cette production d'huile, une usine d'extraction va être créée dans les montagnes de Kibili, à proximité de villages agricoles. Toutefois, son fonctionnement requiert de l'énergie, principalement électrique, élément très absent dans la région où elle sera placée.

Le but de ce travail de bachelor est d'estimer dans quelle mesure cette usine peut être autonome en énergie, en intégrant le plus possible les énergies renouvelables. Donc, de trouver un moyen de garantir un fonctionnement fiable et stable durant la période de fabrication d'huile, et d'évaluer la possibilité de fournir également de l'électricité aux habitants des villages à proximité.

Bien que consacrée à l'installation d'une usine d'extraction d'huile d'avocat, la présente étude ne s'intéresse qu'à la question de la production d'énergie nécessaire au bon fonctionnement de l'usine ; les questions purement économiques de la rentabilité de cette dernière sortent du périmètre de cette étude et ne seront donc pas traitées ici.



## II. Structure du travail

### 1. Cahier des charges

1. Évaluer la demande en énergie électrique et thermique de l'usine d'extraction d'huile d'avocat.
2. Évaluer la possibilité de répondre à la demande énergétique de l'usine à l'aide d'énergies renouvelables.
3. Mettre en place un système de production d'énergie qui soit stable et autosuffisant tout au long de la période de transformation.
4. Mettre en place un réseau local dans l'usine afin d'assurer l'alimentation des appareils et machines.
5. Étudier la faisabilité d'électrification des agglomérations à proximité de l'usine (village de Fanyetta et Khonia et petits villages dans la zone)
6. Établir plusieurs scénarios différents de système énergétique, en en faisant ressortir les points techniques et financiers

### 2. Liste détaillée des tâches

Avant d'entrer directement dans les aspects techniques, il est nécessaire de s'informer sur le projet Kibili, sur la région concernée au niveau du climat, du relief, etc.

Chacun des 6 points de la liste du cahier des charges peut être décrit en plusieurs points.

- Pour la demande énergétique de l'usine, il faut, dans un premier temps, identifier tous les éléments qui vont en consommer, comme les machines d'extraction, l'éclairage, la chambre froide, etc. Puis étudier les courbes dynamiques de consommation afin de déterminer quel appareil consomme à quel moment, quelles sont les puissances à fournir à quel moment. Il faut savoir précisément comment se passe le processus d'extraction, quelle machine tourne à quel moment et durant combien de temps. Savoir aussi dans quelle mesure l'eau chaude pour le processus d'extraction et le nettoyage peut être fournie par du solaire.
- Pour avoir une idée la plus réaliste de ce que l'on peut apporter en termes d'énergie renouvelable, il faut, dans un premier temps, analyser lesquelles sont envisageables et rentables dans la région. Ensuite, déterminer la place à disposition pour l'installation des éléments. Enfin déterminer la surface nécessaire à la production d'énergie.

- Avec la demande en électricité et en chaleur, il sera alors possible de déterminer la quantité d'énergie renouvelable qu'il faudra installer et voir si cela est suffisant durant toute la journée ou si, par moment, il sera nécessaire d'utiliser un groupe électrogène pour combler le manque.
- Une fois les installations dimensionnées, un système de réseau pourra être implémenté, ce qui requiert également une étude complémentaire pour déterminer des éléments comme la taille des câbles électriques, système de sécurité des hommes et machines, système de pilotage des installations (manuel ou automatique), etc.
- Pour la demande énergétique des habitants, il conviendra de déterminer la consommation moyenne d'appareils électroniques et de petites batteries portables et ainsi déterminer la quantité de ces éléments qu'ils pourront utiliser et recharger. Ensuite, étudier comment distribuer cette énergie (lignes, prises, etc.).
- Une fois tous ces éléments mis en place, plusieurs scénarios seront à développer pour aider à la décision finale.

## 3. Planification

Le travail a été séparé en plusieurs chapitres, comportant chacun des tâches spécifiques. Cela a permis d'avoir un fil rouge à suivre

### 3.1. Journal de travail

Afin de garder un visuel sur l'état d'avancement du travail, un journal de travail quotidien a été maintenu (voir **annexe 1**, journal de travail).

### 3.2. Suivi de la planification

Comme on peut le constater dans le journal de travail, ainsi que sur le suivi de la planification, la planification (voir **annexe 1**, planification) n'a pas été suivie rigoureusement, car certaines tâches ont pris plus de temps que prévu. Heureusement une marge avait été prévue afin de permettre la rédaction du rapport et d'éventuels dépassements.

## 4. Information quant à la pré-étude

Étant donné que rien n'est encore déterminé au niveau de l'usine, l'étude repose sur des hypothèses faites sur la base de normes et de standards ; les résultats ne sont donc pas à prendre tel quel, mais cela permet néanmoins d'avoir une vue d'ensemble sur le projet ainsi qu'une idée sur la faisabilité et la rentabilité du projet.

### III. Développement du projet

#### 1. Contexte du projet

##### 1.1. Zone d'étude

L'usine sera située en Basse-Guinée dans la Commune rurale de Samaya, région peuplée d'environ 13'000 habitants [2], qui est une sous-préfecture de la préfecture administrative de Kindia.



Figure 1 Localisation de la Guinée [3]



Figure 2 Localisation de la région étudiée [3]

Cette région comporte cinq villages principaux qui sont : Kondetta, Maléa, Khonia, Fanyetta et Sorondo (**figure 3**). Le village de Samaya est l'endroit où se situe le grand marché de la région et c'est là que les producteurs peuvent vendre leurs produits.

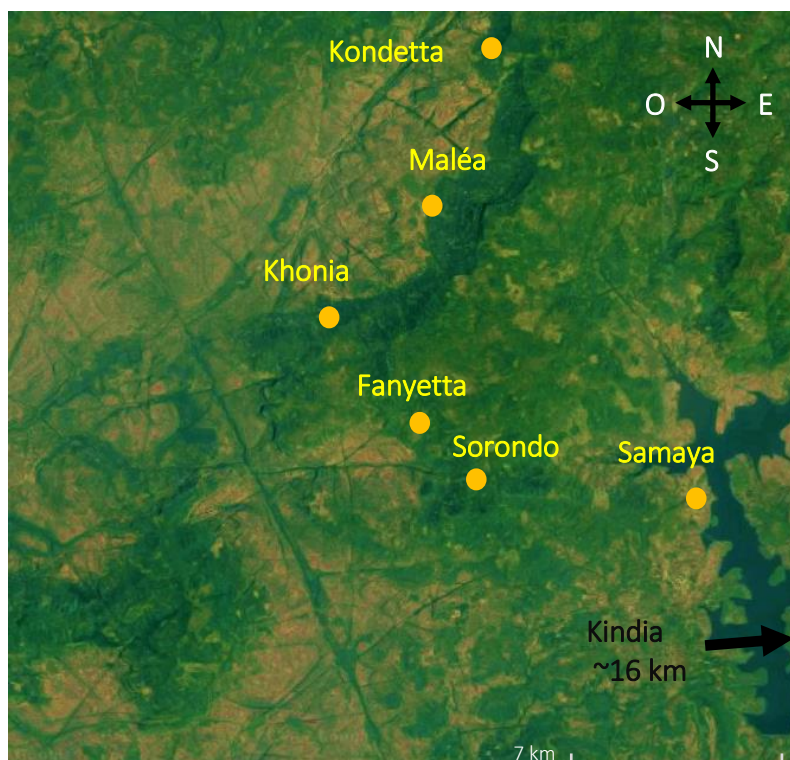
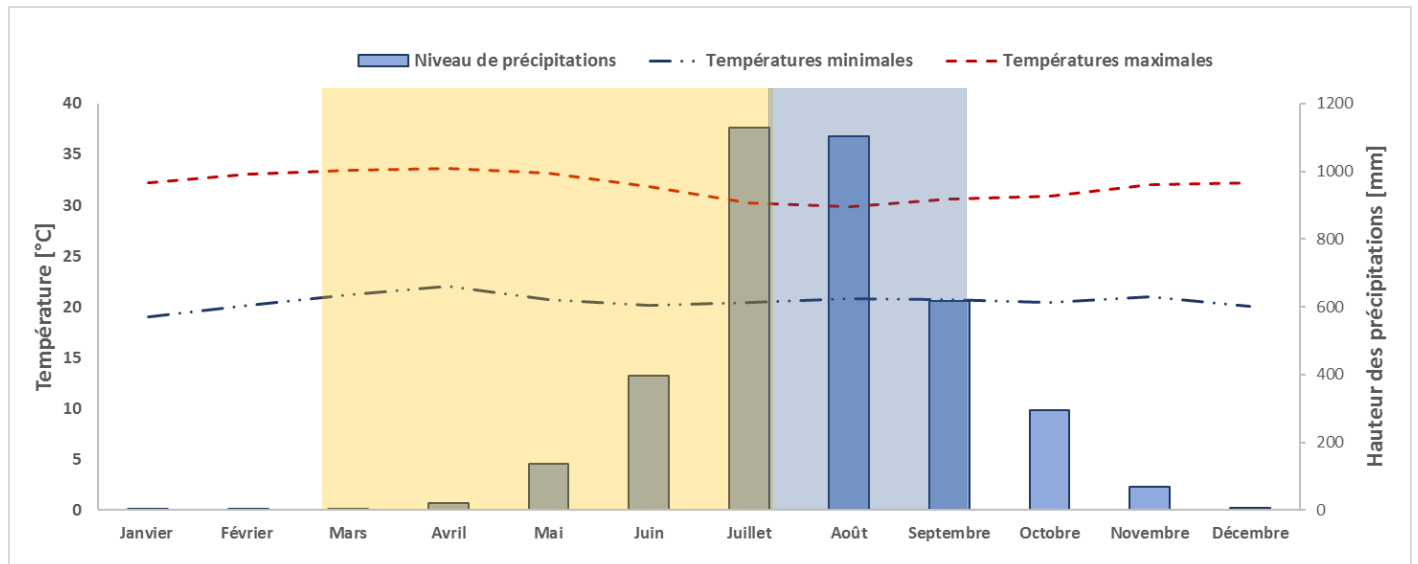


Figure 3 Commune rurale de Samaya [2]

L'usine n'est pas encore construite et son emplacement précis n'est pas déterminé. Cependant elle devrait, idéalement, se situer entre les villages de Khonia et Fanyetta. C'est donc entre ces deux villages qu'il convient de faire l'étude du potentiel énergétique.

## 1.2. Climat dans la région

Une étude du climat est nécessaire afin de déterminer le potentiel énergétique de la région, d'autant que le climat dans cette région est très spécifique : il y a une grande période de sécheresse suivie par une grande période de pluie, ce qui a un impact non négligeable quant à la production d'énergie avec des technologies renouvelables.



**Graphique 1** Données météo de Conakry de 1981 à 2010 (valeurs moyennes) [4]

Les données annuelles du **graphique 1** (voir **annexe 2**) sont celles de la ville de Conakry, située à une soixantaine de kilomètres de la région de Samaya (à vol d'oiseau). On constate que les températures, tout au long de l'année, sont très stables avec une moyenne de 20°C pour les températures minimales et 30-33°C pour les températures maximales.

On trouve également la saison des pluies qui débute vers mai et dure jusqu'à novembre. Le reste étant une période très sèche, comme indiqué par le niveau de précipitations. La période indiquée par une coloration en orange clair sur la figure, de mars à juillet, est la période d'abondance pour les récoltes de l'avocat ; c'est durant ces mois-ci que l'usine fonctionnera à plein régime.

La partie bleue du graphique correspond à la petite saison, période durant laquelle la récolte de l'avocat se fait en plus faible quantité. Suivant la quantité de fruits, il est possible que l'usine tourne encore un moment en août.

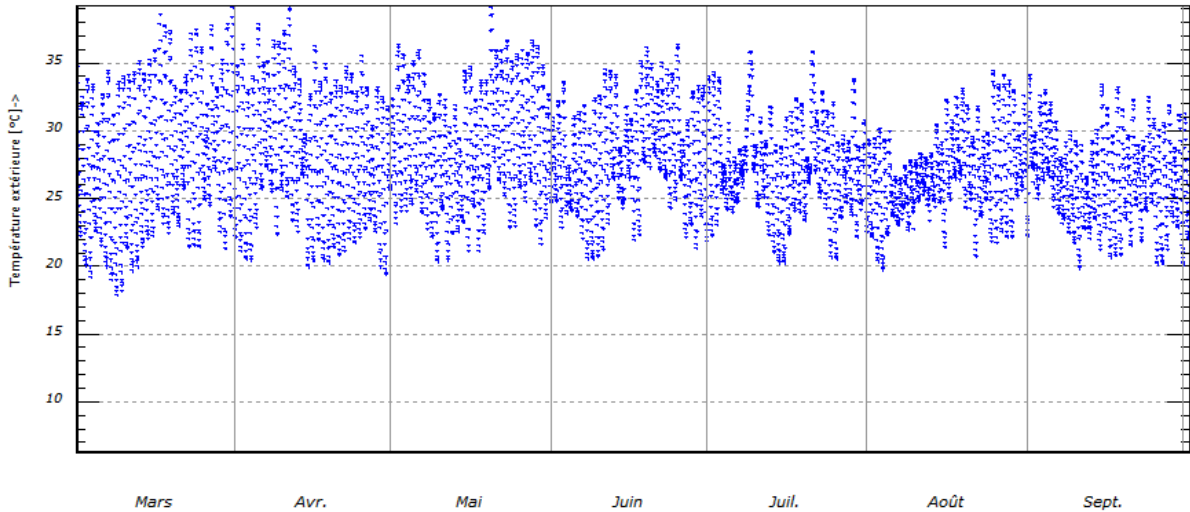


Figure 4 Moyenne glissante par heure (région d'étude) [5]

La figure 4 nous montre un peu mieux la variation de température que l'on peut retrouver dans la région. Ces données viennent du logiciel bsol utilisé plus loin.

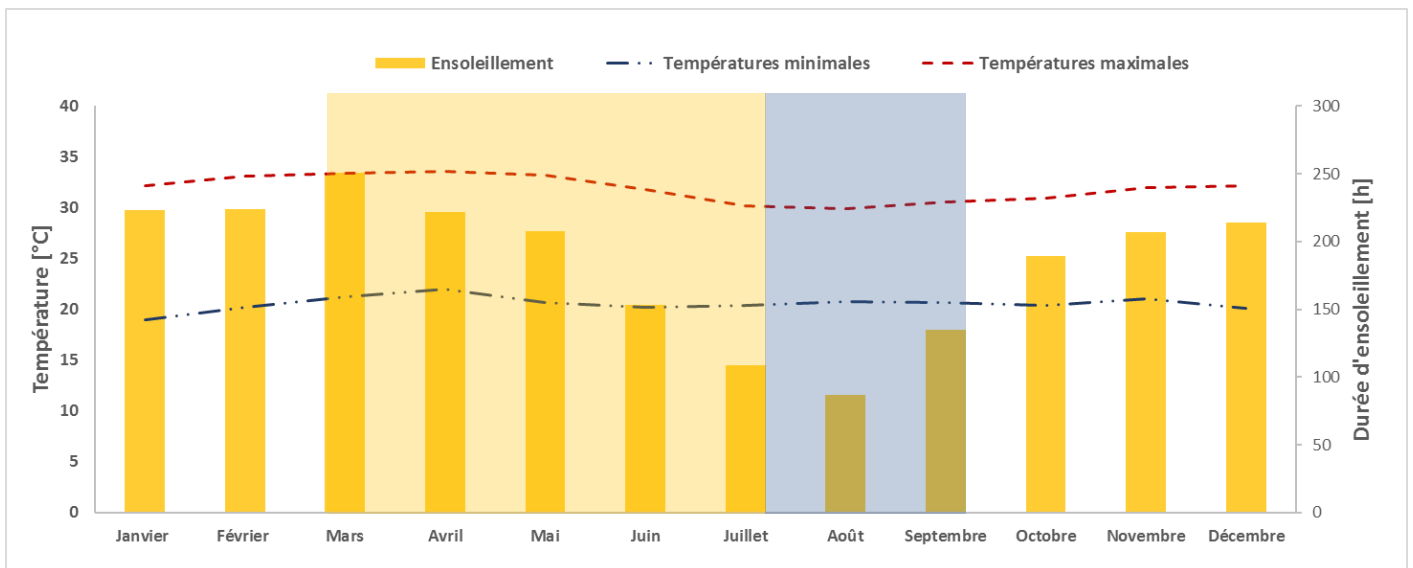


Figure 5 Données météo de Conakry de 1981 à 2010 (valeurs moyennes) [4]

Bien qu'étant parmi les pays d'Afrique ayant le moins de potentiel solaire (voir **annexe 3**) avec une constante d'irradiation solaire de  $4.8 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$  [6], la Guinée possède tout de même un potentiel intéressant. Si l'on cumule les heures d'ensoleillement durant l'année on arrive à une moyenne de 2222 heures. Pour comparaison, en Suisse nous avons entre  $3.11$  et  $3.8 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$  [7] pour une durée d'ensoleillement variant entre 1300 et 2000 heures.

Grâce à ces graphiques, on peut donc voir que, durant le fonctionnement de l'usine, il y aura une période où le soleil est très intéressant et une autre où il sera nettement moins rentable.

## 1.3. Potentiel énergétique

Un des problèmes majeurs de l'Afrique subsaharienne est l'approvisionnement en électricité, qui ne se développe que très lentement dans le continent et l'accessibilité énergétique se limite aux grandes villes, les petits villages éloignés se retrouvant livrés à eux-mêmes. C'est le cas de notre région d'étude : située dans les montagnes, elle n'a aucun accès à l'électricité. L'usine ayant besoin d'énergie électrique, il faut évaluer les possibilités envisageables pour son approvisionnement.

### 1.3.1. Barrage

Il y a un barrage situé en plaine à environ 20 km à vol d'oiseau qui, de ce fait, est beaucoup trop éloigné de la zone pour pouvoir en tirer profit. Cela nécessiterait l'installation d'un réseau à travers les montagnes, ce qui serait bien trop onéreux et non imaginable pour un projet comme celui-ci. Sans compter que le barrage n'est pas directement disponible pour qui souhaite l'utiliser, de plus, dépendre d'un élément qui n'est pas en notre possession, surtout dans ces pays, occasionne un risque compromettant la sécurité d'approvisionnement. Une possibilité serait de délocaliser l'usine à proximité du barrage, mais cela ferait perdre l'intérêt d'avoir l'usine à proximité des villages producteurs.

### 1.3.2. Solaire

Comme vu dans le chapitre ci-dessus, l'irradiation solaire en Afrique, même en Guinée, est conséquente, ce qui devrait permettre une bonne production d'énergie. Du moins durant la période de sécheresse. L'usine va tourner à cheval entre la période de sécheresse et la période des pluies. On aura donc, dans la période de fonctionnement de l'usine, une période où le soleil sera capable de fournir une assez grande quantité d'énergie et une autre période probablement moins intéressante où il faudra certainement trouver un moyen de combler le manque d'énergie par un autre système de production.

### 1.3.3. Groupe électrogène

Les groupes électrogènes sont très répandus en Afrique [8]. Ils permettent de produire de l'électricité de manière simple pour toutes les personnes éloignées des réseaux. Dans un cas comme le nôtre il peut être intéressant d'en avoir à disposition, si la production d'énergie avec du renouvelable ne suffit pas.

### 1.3.4. Potentiel éolien

Les éoliennes permettent d'obtenir de l'énergie en utilisant la force du vent, le problème étant que le vent est une ressource encore plus variable que l'irradiation solaire. Si l'on sait que chaque jour il y aura du soleil, même à intensité non constante, la présence de vent est en revanche moins certaine. De plus il faut une vitesse minimale afin de pouvoir produire de l'énergie. Selon les données tirées du fichier météo de PVsyst (**tableau 1**), nous constatons que le vent ne souffle pas beaucoup dans la région.

*Tableau 1 Vitesses moyennes du vent dans la région de Kindia*

Mois	Vitesse du vent [m/s]
Janvier	2,8
Février	2,8
Mars	2,5
Avril	2,5
Mai	2,7
Juin	2,6
Juillet	2,3
Août	2,1
Septembre	1,9
Octobre	1,7
Novembre	1,9
Décembre	2,5
<b>Moyenne Année</b>	<b>2,4</b>

En dessous de 4 m/s, la production éolienne est nulle pour ce qui est de la plupart des éoliennes. Il existe cependant des éoliennes faites pour les basses vitesses de vent comme celles de type Savonius et qui peuvent démarrer avec des vents plus faibles avec 1.5 m/s par exemple.

L'entreprise Hopeful Wind Energy Technology [10] propose des modèles fonctionnant à très basse vitesse ; cependant, comme le montre le graphique suivant, tiré de leur site, pour une éolienne à axe vertical de 300 W même si l'éolienne commence à tourner 1.5m/s, il faut tout de même une dizaine de mètres par seconde pour avoir une puissance intéressante à exploiter.



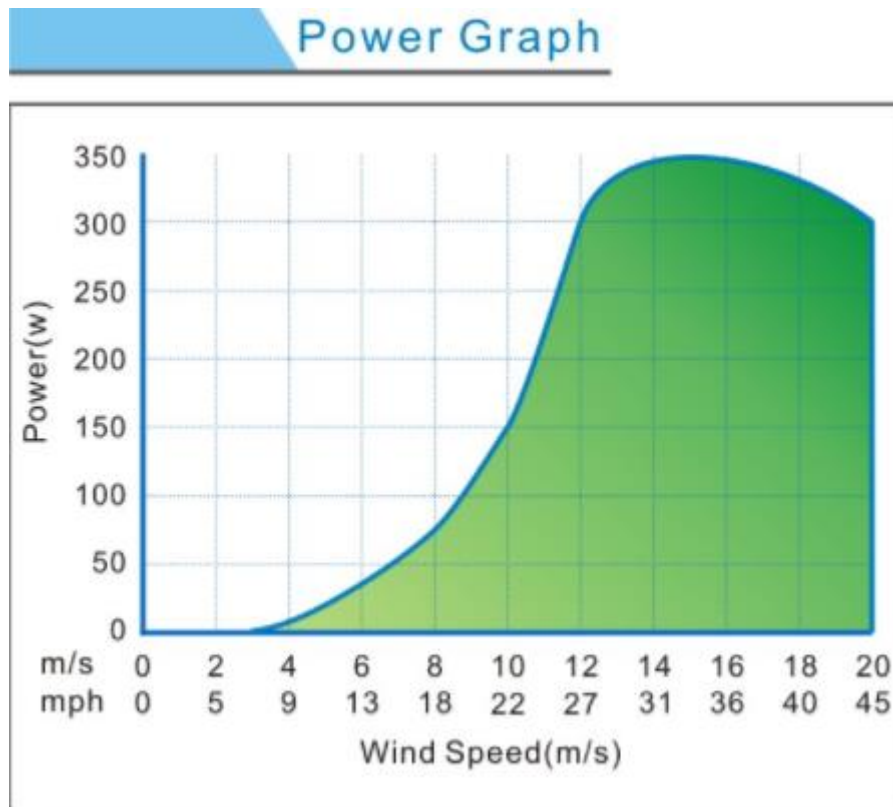


Figure 6 Courbe de puissance éolienne à axe vertical (300W) [10]

On en conclut donc que, dans notre cas, il n'est pas intéressant de mettre des éoliennes, car la productivité serait trop faible pour pouvoir être exploitée.

### 1.3.5. Biomasse

Avec la quantité de déchets organiques qui va être produite par l'usine, il y aurait probablement la possibilité de produire du biogaz. Cela fera l'œuvre d'une prochaine étude.

## 2. Usine d'extraction d'huile

Afin de pouvoir réaliser une étude correcte, il est nécessaire de disposer de valeurs de références. L'usine n'existant pas encore, il était nécessaire de développer un modèle le plus proche possible de la réalité, tout en respectant au maximum les normes et standards des bâtiments industriels. Comme des surfaces de prise au sol ont déjà été estimées par l'association, il a été possible d'imaginer un plan d'usine respectant ces dimensions. Ce plan va aider à la visualisation et permettre d'effectuer des calculs sur des valeurs précises, bien que dans le cas réel et futur de l'implantation de l'usine, ces valeurs devront être ajustées en conséquence.

Ce chapitre va donc traiter de la réalisation de cette usine, en se basant sur les hypothèses de fonctionnement faites par l'association.

### 2.1. Placement de l'usine

Comme mentionné plus haut, le positionnement de l'usine n'est pas encore déterminé. Elle devrait normalement se situer près d'un village comme Khonia ou Fanyetta. Pour l'étude, l'usine a été positionnée près d'un petit village (encadré en jaune sur la **figure 7**)



Figure 7 Localisation de l'usine pour l'étude [10]

Cet endroit était bien adapté, car il était à proximité d'une route, à côté d'un village ; de plus la zone est plate et sans végétation (voir **annexe 4**).

## 2.2. Dimensions de l'usine

Selon les données de l'association [11], la surface au sol de l'usine, nécessaire pour tous les éléments prévus, est de 290m<sup>2</sup>

*Tableau 2 Dimensions des salles de l'usine*

Surface au sol	[m <sup>2</sup> ]
<b>Espace pour la matière première</b>	
Stockage	36
Murissage	36
<b>Espace pour la transformation</b>	
Nettoyage et décorticage	54
Centrifugation	36
<b>Espace pour les produits finis</b>	
Stockage	36
<b>Espace pour les travailleurs</b>	
Vestiaire	16
Bureau	36
Cantine	22
Labo	18
Surface totale	290

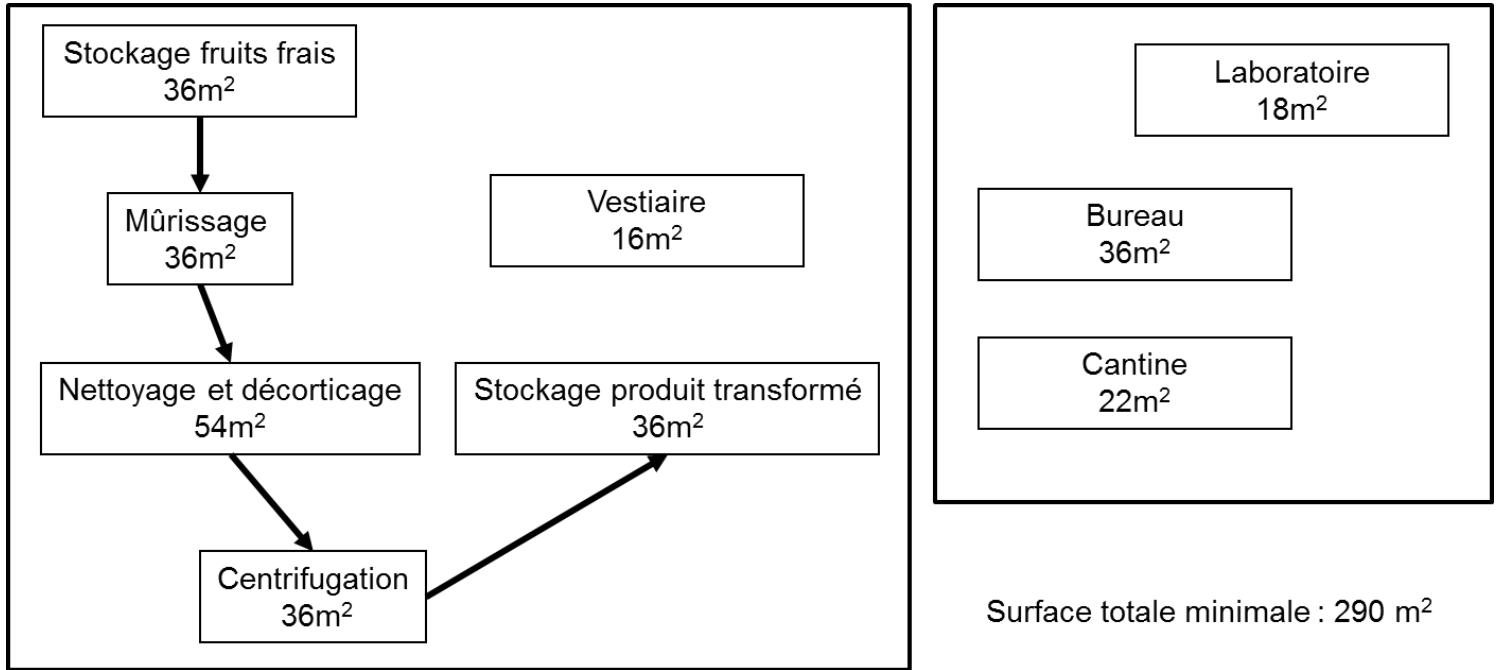


Figure 8 Schéma bloc de l'usine

## 2.3. Plan d'implantation de l'usine

Les figures ci-dessous représentent l'usine telle qu'elle a été imaginée pour l'étude.



Figure 9 Côtés SUD / EST



Figure 10 Côtés NORD / WEST

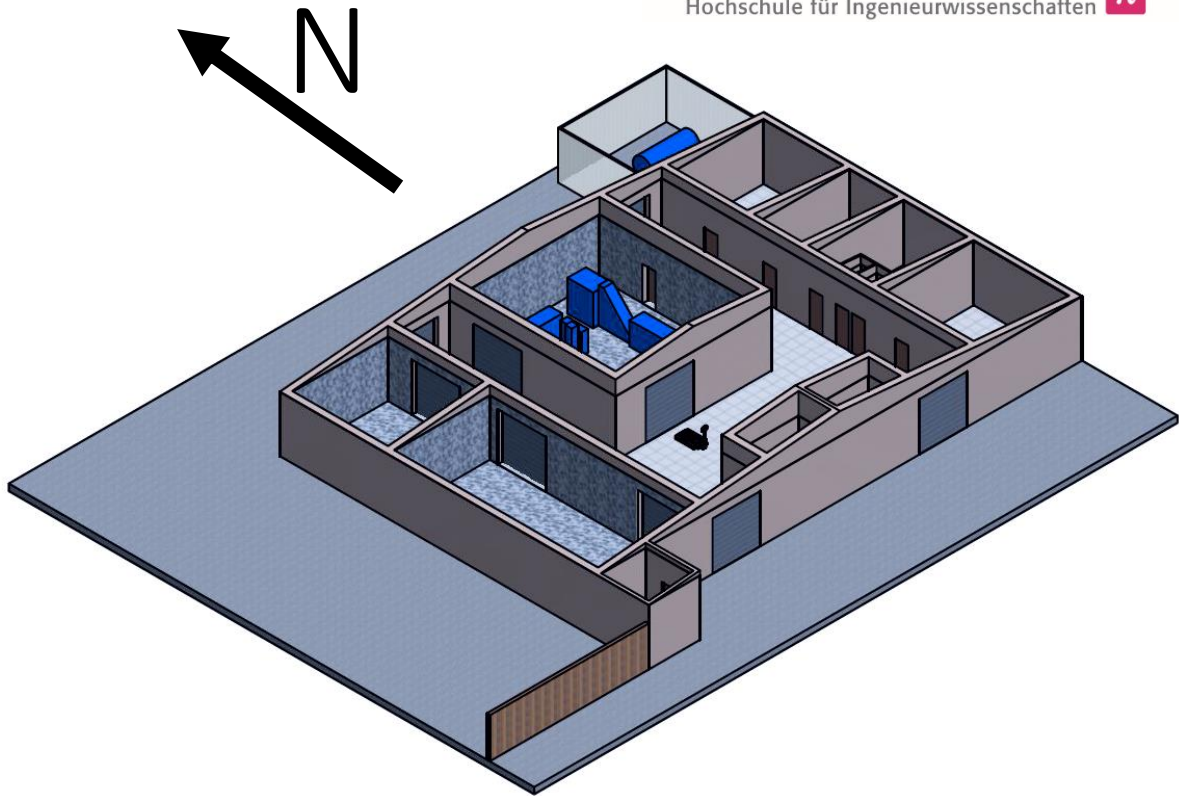


Figure 11 Aperçu global de l'usine

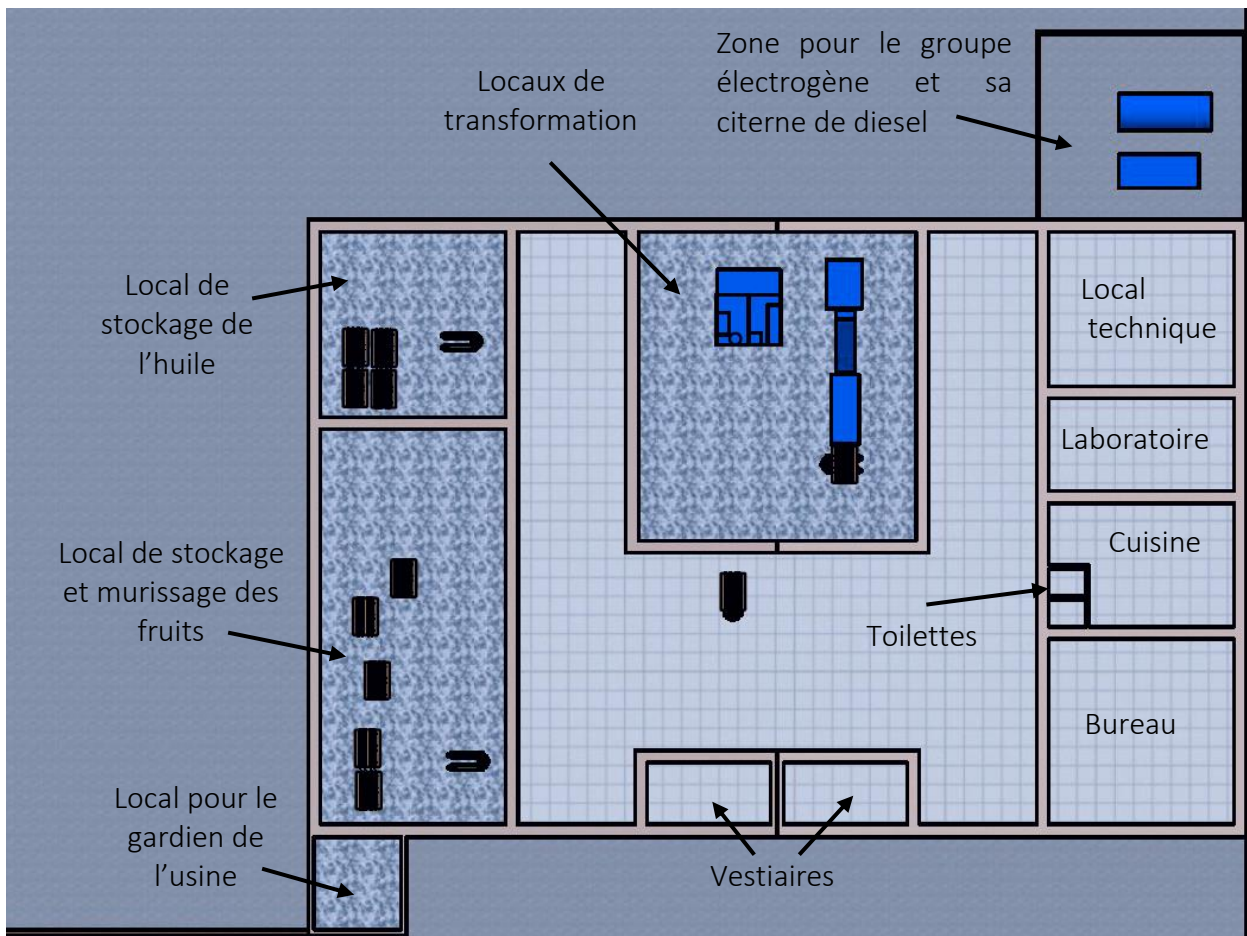


Figure 12 Usine vue de dessus

L'usine a été pensée de la façon la plus idéale possible au niveau du placement des locaux. Cela permet une logistique et un fonctionnement adéquats.

Les éléments qui sont ressortis et qui seront à prendre en compte lors de sa future réalisation sont :

- L'évacuation de l'eau dans l'usine. Prévoir des rigoles en pente afin de permettre une évacuation naturelle de l'eau. Pour tout ce qui est évacuation des eaux en général il faut de préférence jouer avec la gravité afin de limiter la dépense énergétique.
- Prévoir un système de sécurité contre les inondations. En effet, durant la saison des pluies les précipitations peuvent être de plusieurs dizaines de centimètres par jour (voir **graphique 1**).
- Que les issues de secours soient accessibles en tout temps.
- Le sol des locaux de stockage et transformation devrait être fait avec une matière facilement nettoyable et adéquate selon les normes agroalimentaires.
- Du moment où les déchets (eau et matière organique) de l'usine ne sont pas valorisés d'une certaine façon (biogaz ou autre), il faut prévoir un endroit permettant une biodégradation propre. Par exemple, les garder afin de les répandre sur les champs ou trouver une zone suffisamment grande pour y accueillir le tout.

Les plans complets sont disponibles en **annexe 5**.

## 3. Fonctionnement de l'usine

### 3.1. Horaires de travail

L'usine va fonctionner 5-6 mois durant l'année [12], de mars à juillet voire août selon la quantité de fruits à disposition, à raison de 10 heures par jour et 7 jours sur 7 de mars à juin et 5 heures par jour en juillet et août.

### 3.2. Processus d'extraction d'huile

Les avocats sont amenés par camion à l'usine d'extraction. Ils sont ensuite stockés dans un local spécifique, le temps de mûrir. Ces locaux doivent être ventilés ou, du moins, avoir une circulation d'air afin de limiter l'excès de CO<sub>2</sub> qui a un impact négatif sur le murissement et la température ne devrait pas excéder les 25°C [13], idéalement elle devrait être maintenue entre 15 et 20°C qui sont les conditions favorisant un murissement optimal ; cependant comme nous le verrons plus tard, il sera difficile respecter cette contrainte, la température sera plutôt comprise entre 22-25°C. Une fois à maturité, les avocats sont envoyés dans le processus de transformation. Ils sont, dans un premier temps, nettoyés avant d'être dirigés vers la machine à dénoyauter, après quoi ils sont acheminés, soit d'abord dans un broyeur afin de casser les fibres et de rendre la pulpe la plus fine possible puis amené dans un malaxeur, soit directement dans le malaxeur (si l'étape de dénoyautage suffit à avoir une pâte assez fine).

Une fois rempli, le malaxeur tourne et va progressivement monter en température jusqu'à 43°C afin de permettre aux gouttelettes d'huile de se rassembler en formant des plus grosses en rompant l'émulsion entre l'eau et l'huile présentes dans la pâte. Cela va durer environ une heure. Le malaxeur est ensuite vidé dans un décanteur actif qui va séparer la partie liquide de la partie solide. L'huile est alors extraite du reste puis centrifugée afin d'extraire les restes d'eau et impuretés et ainsi obtenir l'huile la plus pure possible. Cette huile est stockée dans un local spécifique durant environ un mois avant son exportation sur le marché.

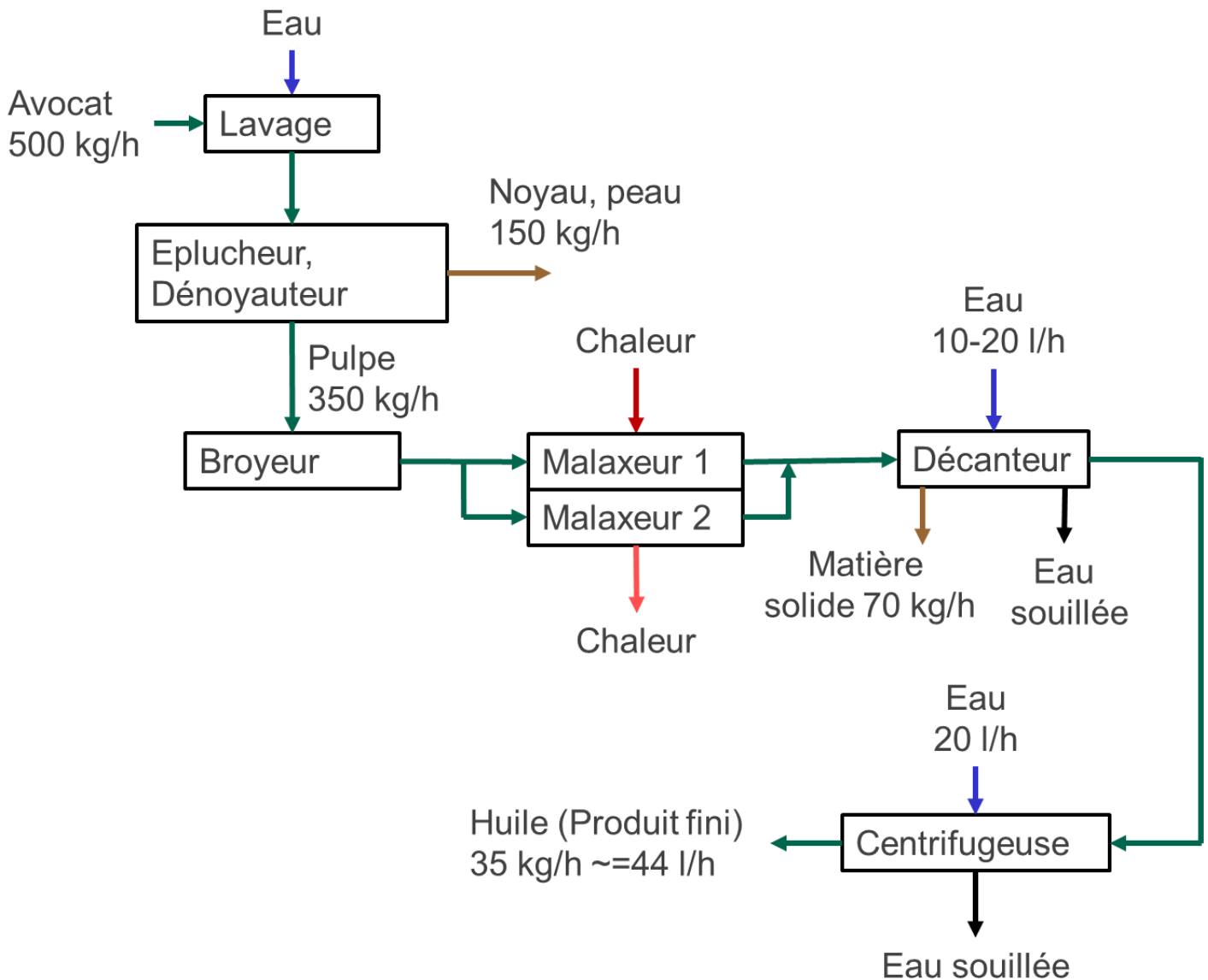


Figure 13 Processus d'extraction (Les valeurs numériques sont des valeurs idéales et non pas réelles)

### 3.3. Machines d'extraction d'huile

#### 3.3.1. Description des machines utilisées

Les machines retenues viennent de l'entreprise Alfa Laval. Cette entreprise est spécialisée dans l'huile d'olive, mais comme les processus d'extraction entre l'olive et l'avocat sont très similaires, il est possible d'être fourni par cette entreprise. Les machines utilisées sont celles de la gamme Oliver500 [14].

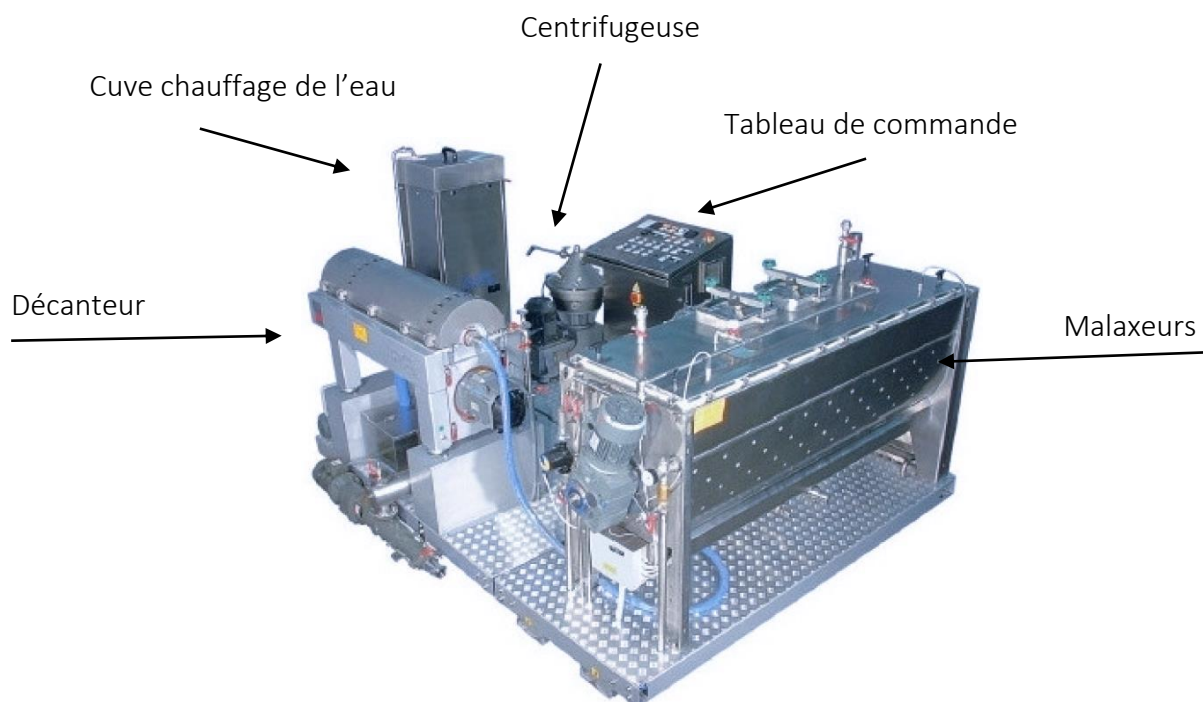


Figure 14 Alfa Oliver500

La dénoyauteuse vient d'une autre entreprise, car celle de l'Oliver500 n'est pas adaptée pour l'avocat. Celle qui va normalement être utilisée vient de l'entreprise Kreuzmayr, de modèle KEP 1000 avec une puissance de 7.5 kW [15].

La laveuse sera simplement un bac d'eau dans lequel les fruits vont passer, sans entrainement mécanique.



### 3.3.2. Séquençage des machines

Des tests d'extraction d'huile d'avocat ont été effectués dans un moulin en France avec des spécialistes d'extraction d'huile d'olive. Ces tests ont permis de vérifier la faisabilité et le rendement du processus. Un compte rendu a été fait par un des spécialistes, ce qui a permis d'avoir les détails sur le séquençage des machines.

Les machines d'extraction ne vont pas toutes tourner tout du long lors d'une journée d'extraction. Plusieurs étapes auront lieu. En fonction des scénarios de séquençage qui vont être choisis, les étapes seront légèrement différentes. Mais les étapes de base sont les suivantes :

- Une première étape consiste à laver les fruits puis les amener dans une machine qui va les éplucher et les dénoyauter. Si, à la sortie de la machine précédente, la pulpe n'est pas assez fine, il sera alors nécessaire d'ajouter un broyeur supplémentaire à la chaîne d'extraction afin d'obtenir une pâte adéquate (à voir une fois les machines à disposition). Celle-ci est ensuite amenée dans un malaxeur.
- Une seconde étape est simplement de faire fonctionner le malaxeur une fois ce dernier rempli.
- La dernière étape va vider le malaxeur au travers d'un décanteur puis centrifuger l'huile.

Un premier jet de séquençage a été fait (voir **annexe 6**) avant de recevoir les versions [15] du spécialiste d'extraction d'huile. C'est donc sur ces versions que sont basés les calculs qui vont suivre. Dans le compte rendu fait lors des tests, il est spécifié que la simulation numéro 2 (**figure 15**) est la plus réaliste. C'est donc celle-ci qui a été utilisée afin de déterminer la consommation des machines. A noter qu'il est aussi stipulé que le séquençage sera affiné lors des tests qui seront réalisés sur place en Guinée dans les conditions réelles de fonctionnement.

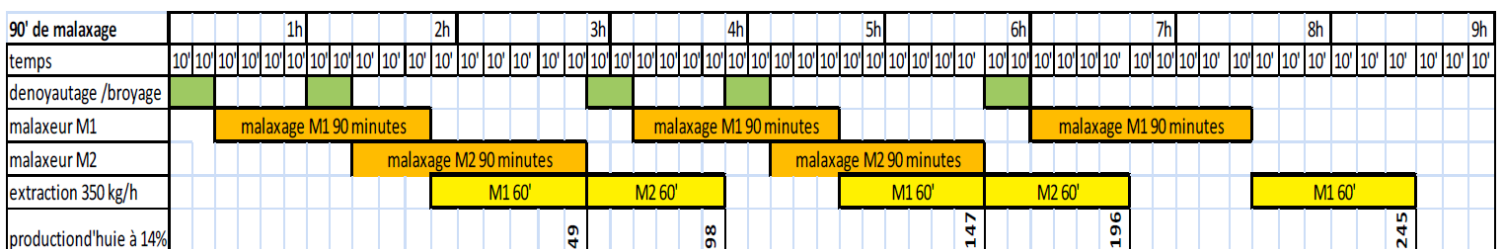


Figure 15 Simulation 2 : Séquençage sur une journée type [15]

Résultats : 1750 kg de pâte travaillée en 8h30mn soit 2980 kg de fruit brut  
 245 litres d'huile extraite soit 28,8litres/heure

La figure n°15 permet de séparer 9 étapes différentes. Chaque étape aura une demande en puissance différente, car le nombre de machines en fonction est différent.

Tableau 3 Description des étapes du séquençage des machines

Étapes	Machines en fonction
1	Laveuse + Éplucheur, Dénoyauteur + Broyeur + Remplissage Malaxeur 1
2	Malaxeur 1 tourne
3	Laveuse + Éplucheur, Dénoyauteur + Broyeur + Remplissage Malaxeur 2 + Malaxeur 1 tourne
4	Malaxeur 1 tourne + Malaxeur 2 tourne
5	Malaxeur 1 se vide + Décanteur + Centrifugeuse + Malaxeur 2 tourne
6	Laveuse + Éplucheur, Dénoyauteur + Broyeur + Remplissage Malaxeur 1 + Malaxeur 2 se vide + Décanteur + Centrifugeuse
7	Malaxeur 1 tourne + Malaxeur 2 se vide + Décanteur + Centrifugeuse
8	Malaxeur 1 tourne + Laveuse + Éplucheur, Dénoyauteur + Broyeur + Remplissage Malaxeur 2
9	Malaxeur 1 se vide + Décanteur + Centrifugeuse

Durant la journée, les étapes se succèdent dans cet ordre<sup>1</sup> :

1→2→3→4→5→6→7→8→4→5→6→7→2'→9

Avec contraintes de temps suivantes :

Tableau 4 Durée des étapes de transformation

Étapes	Durée de chaque étape [min]
1	20
2	40
2'	50
3	20
4	30
5	60
6	20
7	40
8	20
9	60

Ce qui donne que, pour une journée de travail, les machines vont fonctionner durant 8h30, pour un total de 2980 kg de fruits traités et une extraction d'huile de 245 litres.

<sup>1</sup> L'étape 2' est la même que l'étape 2 seulement la durée est différente

## 4. Demande énergétique

Tous les développements et calculs se trouvent en **annexe 9**.

### 4.1. Liste des consommateurs d'énergie électrique

Afin de pouvoir dimensionner une installation fournissant l'énergie nécessaire au fonctionnement des installations de l'usine, il faut, en un premier temps, savoir quelle est la quantité d'énergie utilisée. Pour ce faire, une courbe de demande d'énergie sur une journée type a été réalisée.

Pour réaliser cette courbe, il a fallu lister tous les éléments consommant de l'énergie dans l'usine et déterminer le moment et la durée de fonctionnement.

Une liste a été réalisée de la façon la plus exhaustive possible avec les moyens et connaissances à disposition.

- 1) Machines d'extraction d'huile.
- 2) Pompe de circulation d'eau pour le processus d'extraction d'huile.
- 3) Appareils de nettoyage de l'usine.
- 4) Pompe pour l'eau de la nappe phréatique.
- 5) Filtre et purificateur d'eau.
- 6) Climatisation des locaux de stockage et murissage des fruits.
- 7) Éclairage.
- 8) Appareils électroniques (ordinateurs, imprimantes, appareils divers, onduleurs).
- 9) Consommation du gardien la nuit/éclairage du gardien la nuit.

## 4.2. Calculs de consommation électrique

Pour la consommation des éléments autres que les machines d'extraction, des valeurs selon des normes et des standards sur le marché ont été pris.

### 4.2.1. Machines d'extraction d'huile

Selon les documents du fabricant, la puissance nominale de l'installation Oliver500 est de 32 kW [16], mais comme les moteurs ne tourneront pas tous en même temps, il a été nécessaire de séparer les éléments à l'aide du schéma électrique (voir **annexe 10**) fourni par un collaborateur d'Alfa Laval.

Cela a permis de déterminer la consommation de chaque étape décrite au chapitre **3.3.2** sur le séquençage des machines afin d'obtenir une courbe de charge journalière.

*Tableau 5 Valeurs technique des machines*

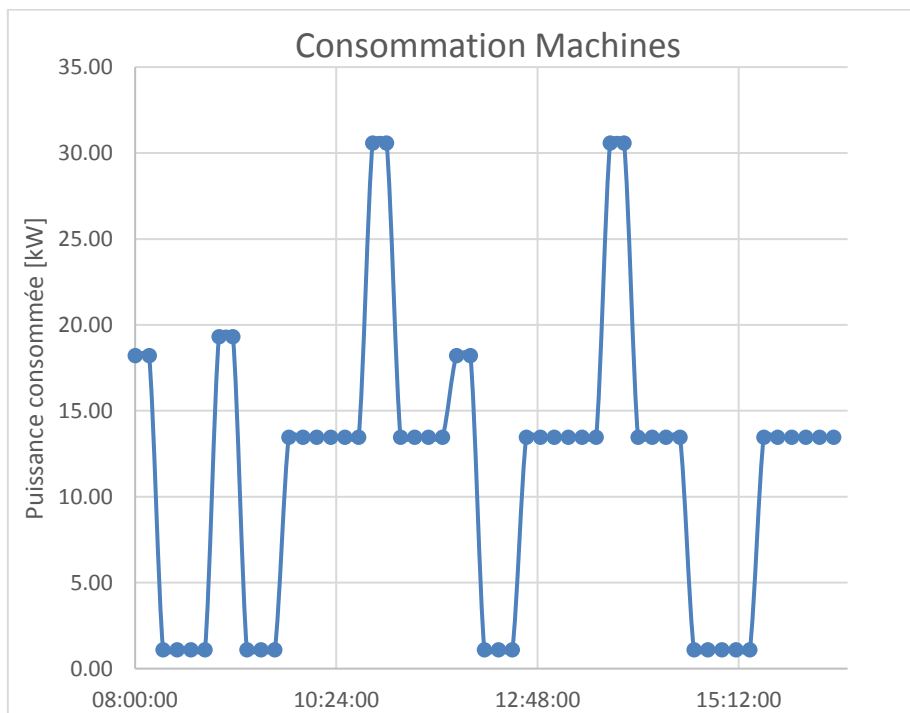
Machines	Puissance nominale [kW]	Courant nominal [A]	Courant min [A]	Courant max [A]	Puissance min [kW]	Puissance max [kW]
Laveuse	-	-	-	-	-	-
Élévateur fruit broyeur Alfa Laval	0,37	1,2	1,1	1,6	0,34	0,49
Dénoyauteur, éplucheur	7,5	-	-	-	7,50	7,5
Pompe ou vis d'amenée au broyeur	1,5	3,6	2,8	4	1,17	1,67
Broyeur	5,5	11	11	16	5,50	8
Moteur alim Broyeur	0,37	1,2	1,1	1,6	0,34	0,49
Vis transport pâte	0,37	1,2	1,1	1,6	0,34	0,49
Pompe transport pâte	1,5	3,6	2,8	4	1,17	1,67
Malaxeurs	1,1	2,6	2,2	3,2	0,93	1,35
Pompe à pâte	0,55	1,65	1,4	2	0,47	0,67
Pompe dilution eau	0,9	2,6	2,2	3,2	0,76	1,11
Décanteur	4	9	9	12,5	4,00	5,56
Pompe eaux végétales	1,5	3,6	2,8	4	1,17	1,67
Vis transport grignon	0,37	1,2	1,1	1,6	0,34	0,49
Pompe grignon	1,5	3,6	2,8	4	1,17	1,67
Pompe huile (décanteur)	0,25	1,1	0,9	1,25	0,20	0,28
Vis horizontale sans fin	1,1	2	2,2	3,2	1,21	1,76
Centrifugeuse	2,2	5,2	4,5	6,3	1,90	2,67
<b>Total</b>	<b>30,58</b>	<b>54,35</b>	<b>49</b>	<b>70,05</b>	<b>28,50</b>	<b>37,53</b>

A l'aide de ce **tableau 5** et du séquençage fait précédemment, il a été possible de ressortir la demande de chaque étape du séquençage et ainsi obtenir le tableau suivant (**tableau 6**) :

*Tableau 6 Demande de chaque étape*

Étapes	Demande de chaque étape [kW]	Durée de chaque étape [min]
1	18,21	20
2	1,10	40
2'	1,10	50
3	19,31	20
4	1,10	30
5	13,47	60
6	30,58	20
7	13,47	40
8	18,21	20
9	13,47	60

Et, en prenant la puissance utilisée et le temps d'utilisation de chaque étape, on obtient la consommation durant la journée. On arrive, sur une journée de 8h30, à **100.25 kWh**.



*Figure 16 Allure de la consommation des machines d'extraction*

## 4.2.2. Pompe de circulation d'eau dans l'usine

Une pompe servant à faire circuler l'eau pour les machines d'extraction tournera lors de l'extraction d'huile ainsi que durant la phase de nettoyage interne des machines. Cela représente 8h30 pour la phase d'extraction et 1 heure pour la phase de nettoyage.

## 4.2.3. Appareils de nettoyage de l'usine

Les machines d'extraction ont un système intégré pour le nettoyage intérieur nécessitant 3.3 kW ; la consommation en eau n'est toutefois pas encore déterminée. Et pour l'extérieur des machines, ainsi que le sol, des kärchers seront utilisés.

La consommation en eau chaude d'un kärcher est d'environ 500 litres par heure et sa puissance requise est de 2.2 kW.

Avec une hypothèse de durée de nettoyage de 1 heure et l'utilisation de 3 kärchers, on arrive à 6.6 kWh et 1500 litres d'eau à 55°C. A noter que, comme les kärchers ne vont pas fonctionner durant la totalité de l'heure de nettoyage, un facteur de 50% a donc été pris. Ce qui nous amène à une consommation de **3.3 kWh et 750 litres** d'eau sur une journée pour les kärchers et **3.3 kWh** pour les machines d'extraction.

## 4.2.4. Pompe pour l'eau de la nappe phréatique

Il y a une nappe phréatique dans la région des montagnes de Kibili ; c'est donc de là que l'usine s'approvisionnera en eau. Un trou jusqu'à la nappe sera effectué et une pompe amènera l'eau dans l'usine. Elle sera filtrée et traitée afin de garantir une eau propre pour préserver les installations et potable pour permettre aux gens de la boire.

Aucune information quant à la profondeur où se situe la nappe n'est disponible. Cependant on peut estimer qu'à 10 m, on se trouve dans la nappe.

La pompe utilisée pourrait être du type suivant [17]:

- **Pompe GRUNDFOS SP 3A**

Selon le tableau fourni par le fabricant avec les débits pour l'usine et la profondeur de la nappe, on peut partir avec le modèle SP 3A en monophasé ou triphasé. Donc une puissance de **550W**.

Le modèle sera à ajuster en fonction de la profondeur réelle de la nappe et de la pression souhaitée dans le réseau d'eau de l'usine.

## 4.2.5. Filtre et purificateur d'eau

L'installation a besoin d'eau sanitaire pour être dans les normes, afin de pouvoir commercialiser sur le marché mondial. C'est pourquoi l'eau tirée de la nappe phréatique sera traitée par un premier filtre mécanique filtrant à 50 micromètres puis, si nécessaire, un deuxième filtrant à 20 micromètres sera placé en série. Après quoi, un filtre UV éliminera tous les éléments indésirables et permettra une stérilisation de l'eau.

Seuls les filtres UV ont une consommation électrique. De là, plusieurs choix peuvent être faits en fonction de la qualité de l'eau de la nappe phréatique.

Pour des petites installations, les puissances des systèmes de filtration sur le marché vont d'une centaine de Watt à 1400W.

- Soit on part sur le mode complet [18] avec 3 filtres différents : Filtration mécanique des particules >50 microns déjà intégrés, décomposition des polluants chimiques (oxydation) et décomposition des polluants biologiques (UV) pour lesquels on arrive à des puissances entre 700W-1400W travaillant au maximum à 15-20 m<sup>3</sup>/h.
- Soit on part sur un simple filtre UV [19] à 42W (AOT 5) combiné avec un petit filtre mécanique pour les grosses particules >50um et travaillant jusqu'à 5m<sup>3</sup> par heure.

Pour l'étude, c'est le simple filtre à **42W** qui a été utilisé, car mieux adapté aux besoins de l'usine, moins coûteux en énergie et en pensant que l'eau de la nappe est relativement propre et qu'une filtration pour polluants chimiques est dans, notre cas, actuellement superflue.

## 4.2.6. Climatisation des locaux de stockage et murissage des fruits

Comme vu précédemment au point 8.4.2, les locaux de stockage et murissage devront avoir des températures restant entre 22-25 °C. C'est pourquoi un système de climatisation devra être mis en place. À cause de la difficulté de production d'énergie dans les montagnes, la solution de mettre des climatiseurs électriques est moins intéressante que d'autres systèmes comme cités juste après. D'autres solutions ont alors été envisagées, comme mettre de grosses cuves remplies d'eau, remplies en début de journée avec de l'eau fraîche de la nappe puis vidées en fin de journée. Ce système permet d'absorber la chaleur afin de tempérer la température des locaux. Une autre possibilité consisterait à utiliser un système également basé sur l'eau de la nappe, avec de l'eau qui circulerait au travers de panneaux radiants. C'est finalement cette dernière option qui a été retenue, car la place nécessaire est nettement plus faible que si l'on devait placer des cuves de plusieurs milliers de litres.

Le principe de fonctionnement de climatisation avec des panneaux radiants est le suivant : on pompe l'eau de la nappe, elle passe au travers des panneaux en absorbant de la chaleur dans les locaux puis elle est renvoyée dans la nappe. Ce système nécessite donc deux forages ayant accès à l'eau de la nappe.

Une simulation sur le logiciel Bsol (logiciel de simulation sur l'énergie thermique du bâtiment) avec des fichiers météo de l'endroit où sera placée l'usine a été faite afin de déterminer l'énergie nécessaire au maintien des températures des locaux à 22-25°C .

Dans un premier temps, il faut déterminer de quelle façon les murs et le plafond des locaux vont être faits. Trois différentes façons ont été étudiées, puis comparées.

- a) Murs faits avec des blocs de ciments d'épaisseur 20 cm
- b) Murs faits avec des blocs de ciment d'épaisseur 20 cm + 8 cm d'isolation
- c) Murs faits avec des blocs de ciment d'épaisseur 20cm + 8 cm d'isolation + 20 cm de torchis (pour l'inertie thermique)

Dans chacun des cas, le plafond est fait de la même façon soit 3 cm de bois avec 20 cm d'isolation.

Les résultats représentés **aux figures 17,18 et 19** ci-dessous nous montrent qu'une isolation des murs est indispensable ; en revanche l'ajout de torchis n'est pas forcément intéressant, compte tenu du surcoût que cela occasionne et de la faible plus-value apportée.

Les différents résultats qui se trouvent en **annexe 7** nous montrent qu'une isolation est en revanche indispensable.



a)

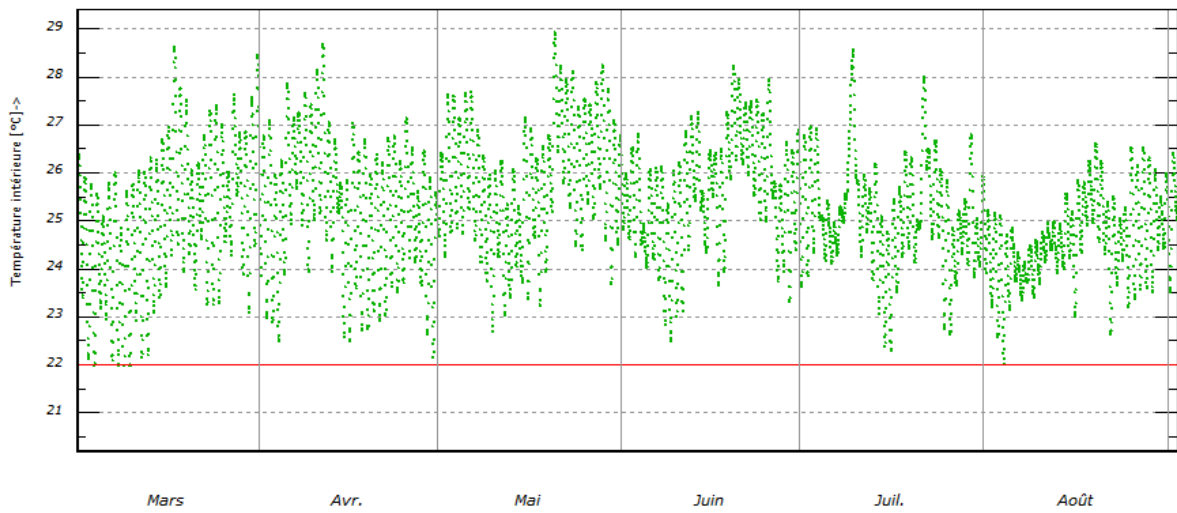


Figure 17 Plots de Ciment sans isolation + climatisation 20 W/m<sup>2</sup>

b)

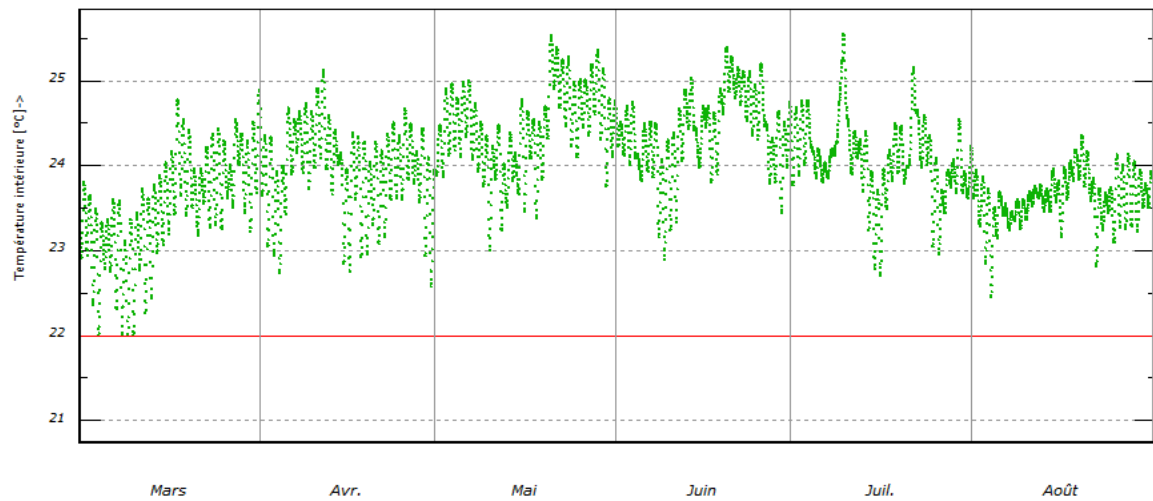


Figure 18 Plots de Ciments avec 8cm isolation + climatisation 20 W/m<sup>2</sup>

c)

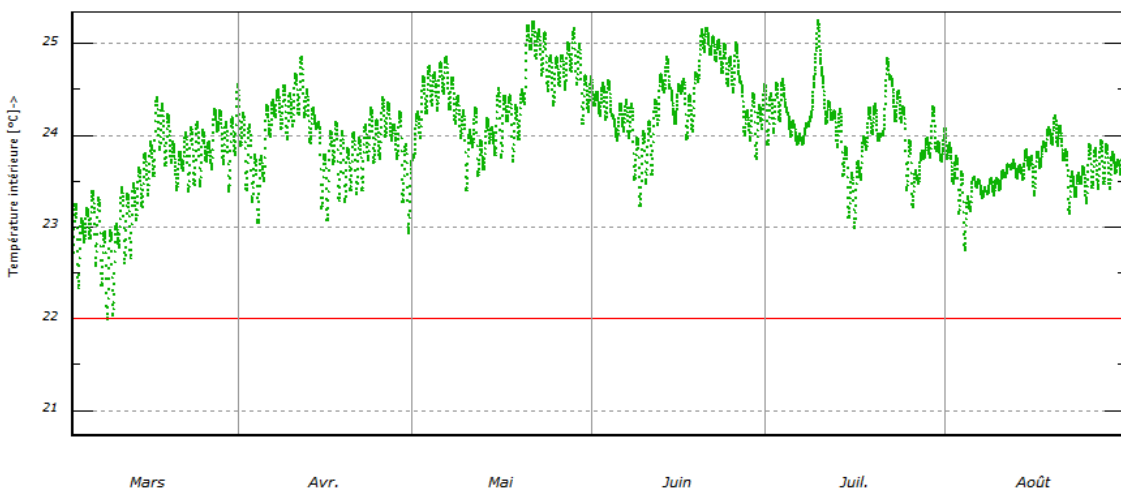


Figure 19 Plots de Ciment avec 8cm isolation et 20 cm de torchis + climatisation 20 W/m<sup>2</sup>

Suite à cette analyse, on voit qu'avec des locaux isolés et 20 W/m<sup>2</sup> de puissance de climatisation, il est possible d'avoir des conditions de stockage correctes. La surface des locaux est estimée à 108 m<sup>2</sup> (ref. chap 2.2) ce qui nous donne une puissance de climatisation de **2.16 kW**. On voit qu'avec un système électrique, la consommation sur une journée est relativement élevée.

Les panneaux climatiques utilisés viennent de l'entreprise Energie Solaire SA. Ils suivent la formule suivante [20] :

$$P = k * \Delta T m^n$$

Avec :

$$\Delta T m = T_{amb} - (T_a + T_r)/2$$

T<sub>amb</sub> : Température ambiante des locaux

T<sub>a</sub> : Température d'arrivée de l'eau de la nappe

T<sub>r</sub> : Température de retour de l'eau

k : Coefficient d'échange (11.447)

n : Exposant pour la puissance de rafraîchissement (1.1203)

P : Puissance des panneaux par m<sup>2</sup>

Les températures d'aller et retour de l'eau ont été estimées à, respectivement, 19°C et 22°C, avec comme température ambiante, 24°C. Cela nous amène à une puissance de 47 W/m<sup>2</sup> de panneaux, soit une surface de 46 m<sup>2</sup> pour satisfaire aux besoins en froid. Ces calculs seront à ajuster une fois les valeurs réelles à disposition.

Le débit nominal qu'il faut avoir au travers de ces panneaux est de 35 l/h\*m<sup>2</sup>, ce qui nous donne un total de 1600 l/h soit 1.6 m<sup>3</sup>/h. Ce débit est assuré par la pompe de prise d'eau de la nappe. Reste à voir si la quantité d'eau dans la nappe ainsi que sa température réelle permettent de faire fonctionner ce système.

Point important à prendre en compte lors de l'installation de ce système : au vu du taux d'humidité présent dans les locaux, il sera indispensable que toutes conduites métalliques soient faites en acier inoxydable. Du plus, les points de rosée, suivant les mois, sont relativement haut (**tableau 7**) ; de ce fait une condensation va se faire sur les panneaux. Il faudra donc prévoir, sous les panneaux, des rigoles d'évacuation d'eau dans les locaux.

*Tableau 7 Point de rosée de la région de Samaya [21]*

	Point de rosée [°C]
Janvier	8,4
Février	9,6
Mars	12,5
Avril	15,8
Mai	18,6
Juin	21,7
Juillet	22,8
Août	23,1
Septembre	23,1
Octobre	22,8
Novembre	17,4
Décembre	11,7

### 4.2.7. L'éclairage

L'usine sera conçue de telle manière à ce que la lumière du soleil suffise dans la majorité du temps. Les salles dans lesquelles les gens devront travailler seront équipées de fenêtres suffisamment grandes pour profiter au maximum de la lumière du soleil. Cependant, il est quand même nécessaire de disposer d'un système d'éclairage au cas où le soleil ne suffirait plus, si le travail se prolonge tard, après le coucher du soleil. Ou alors, lors de périodes de forte pluie, ou même en cas de maintenance durant la nuit.

Le type de lampe qui va être utilisé n'est pas encore décidé, mais, dans une optique d'économie d'énergie, une hypothèse d'un éclairage à LEDs a été choisie, cette technologie étant économique en termes d'énergie. Pour une même puissance, une LED demandera 5-10 fois moins de puissance qu'une lampe à incandescence conventionnelle, de plus leurs durées de vie sont plus élevées. En outre ces lampes LED peuvent être recyclées (ce dernier argument n'étant pas forcément valable pour l'Afrique actuellement).

Selon l'article R R.4223-1 du code du travail de la législation française (**figure 20**) de travail et qui concerne l'éclairage des lieux de travail, certaines valeurs d'éclairages sont à garantir selon les activités. Dans notre cas, ces valeurs sont là pour avoir une idée de la quantité de lumière qu'il faut garantir afin d'assurer un bon fonctionnement de l'usine.

LOCAUX AFFECTES AU TRAVAIL et leurs dépendances	VALEURS MINIMALES d'éclairage
Voies de circulation intérieur	40 lux
Escaliers et entrepôts	60 lux
Locaux de travail, vestiaires, sanitaires	120 lux
Locaux aveugles affectés à un travail permanent	200 lux

ESPACES EXTERIEURS	VALEURS MINIMALES d'éclairage
Zones et voies de circulation extérieures	10 lux
Espaces extérieurs où sont effectués des travaux à caractère permanent	40 lux

Figure 20 Normes d'éclairage (LégiFrance) article R.4223-1 [22]

A l'aide de l'article mentionné ci-dessus, des valeurs ont été choisies pour les différentes surfaces à éclairer. Les calculs sont donc faits sur une demande de **120 Lux** pour l'éclairage des locaux de transformation, bureaux, vestiaires, cuisine, **60 Lux** pour les locaux de stockage et les couloirs, et **20 Lux** pour l'extérieur (face avant de l'usine et espace pour les villageois) qui est une valeur estimée en fonction des données de l'article ci-dessous

Les « LEDs de puissance » qui ont été prises pour le calcul ont une caractéristique entre 80-100 lumens par watt [23][24]

$$\text{Puissance d'éclairage}[W] = \frac{\text{Surface éclairée [m}^2\text{]} * \text{Demande luminosité } \left[\frac{\text{lumens}}{\text{m}^2}\right]}{\text{Puissance lumineuse LED } \left[\frac{\text{lumens}}{W}\right]}$$

Tableau 8 Puissance à installer

	Surface éclairée [m <sup>2</sup> ]	Demande luminosité [LUX]	Flux lumineux de l'espace à éclairer [Lumens]	Puissance nécessaire à l'éclairage [W]
Usine	182	120	21840	273
Stockage + couloirs	298	60	17880	223,5
Villageois	100	20	2000	25
Gardien	150	20	3000	37,5
			Puissance totale	<b>559</b>

On arrive à une puissance d'installation de **559 W**.

Avec les données indiquant le lever et coucher du soleil, on peut estimer la durée d'éclairage. Si le processus d'extraction fonctionne de 08h00 à 16h30 et que le soleil se couche vers 19h00, cela laisse le temps aux ouvriers d'effectuer les nettoyages sans avoir besoin de lumière supplémentaire. On va donc estimer à une heure par jour la demande d'éclairage maximal lors de la saison sèche et à 4 heures, réparties dans la journée, lors de la saison des pluies. L'éclairage pour le gardien, quant à lui, fonctionnera durant la nuit entière soit environ 11h30 en moyenne (voir **annexe 2**). Et une mise à disposition de l'éclairage pour les villageois de 4 heures.

19h00-20h00 : Éclairage Usine (496.5 W) → Saison sèche

Durée 4 heures : Éclairage Usine (496.5 W) → Saison des pluies

19h00-23h00 : Eclairage Villageois (25 W)

19h00-06h30 : Eclairage Gardien (37.5 W)

#### 4.2.8. Appareils électroniques (ordinateurs, imprimantes, appareils divers)

L'usine sera équipée de plusieurs appareils électroniques comme des ordinateurs (3x), une imprimante, d'automates pour la gestion de l'énergie et le pilotage des éléments et, peut-être, des appareils divers pour le laboratoire.

La puissance d'un ordinateur standard de travail est de l'ordre de 100 W

L'imprimante demande une puissance entre 200 W et 600 W selon les marques, les types, etc. Seulement elle ne va fonctionner qu'une dizaine voire une vingtaine de minutes par jour.

Les onduleurs ont une demande en puissance d'environ 0.5 % de ce qu'ils font passer. Par exemple, si la puissance de sortie est de 1000 W, on aura une consommation de l'onduleur d'environ 5 W. Dans notre cas, les puissances de l'usine varient entre 200 W et 34 kW (voir chap. 4.3) ce qui donne, pour l'onduleur, entre 1 W et 180 W.

Il serait très intéressant que l'usine soit munie d'automates [25] avec relais de commutation afin de pouvoir la piloter. On peut estimer à une centaine de watts la puissance nécessaire pour ces éléments.

Pour une estimation large, si d'autres éléments viennent s'ajouter, on peut estimer la demande de ces appareils à 1.5kW durant 10 heures sur une journée.

### 4.2.9. Consommation du gardien de nuit

Sans compter l'éclairage, on peut supposer que le gardien aura à disposition un petit ordinateur et de quoi charger son téléphone portable.

La recharge d'un téléphone portable nécessite un courant de l'ordre de 500mA et une tension de 5V en général et les batteries sont, en moyenne, autour des 2000-3000mAh (réf. Samsung sur le marché) ce qui nous donne une puissance de 2.5W pour une durée de 4-6 heures → 10-15Wh [26].

Et l'utilisation d'un ordinateur d'environ 100 W durant une période dans la nuit (estimons 5 heures où il sera allumé) donc 500Wh.

## 4.3. Synthèse des consommations électrique

En regroupant tous les éléments listés et décrits plus haut, il est possible d'établir une courbe de demande sur une journée type.

Les tableaux ci-dessous (n°9 et 10.) indiquent les différentes répartitions de la consommation selon les éléments.

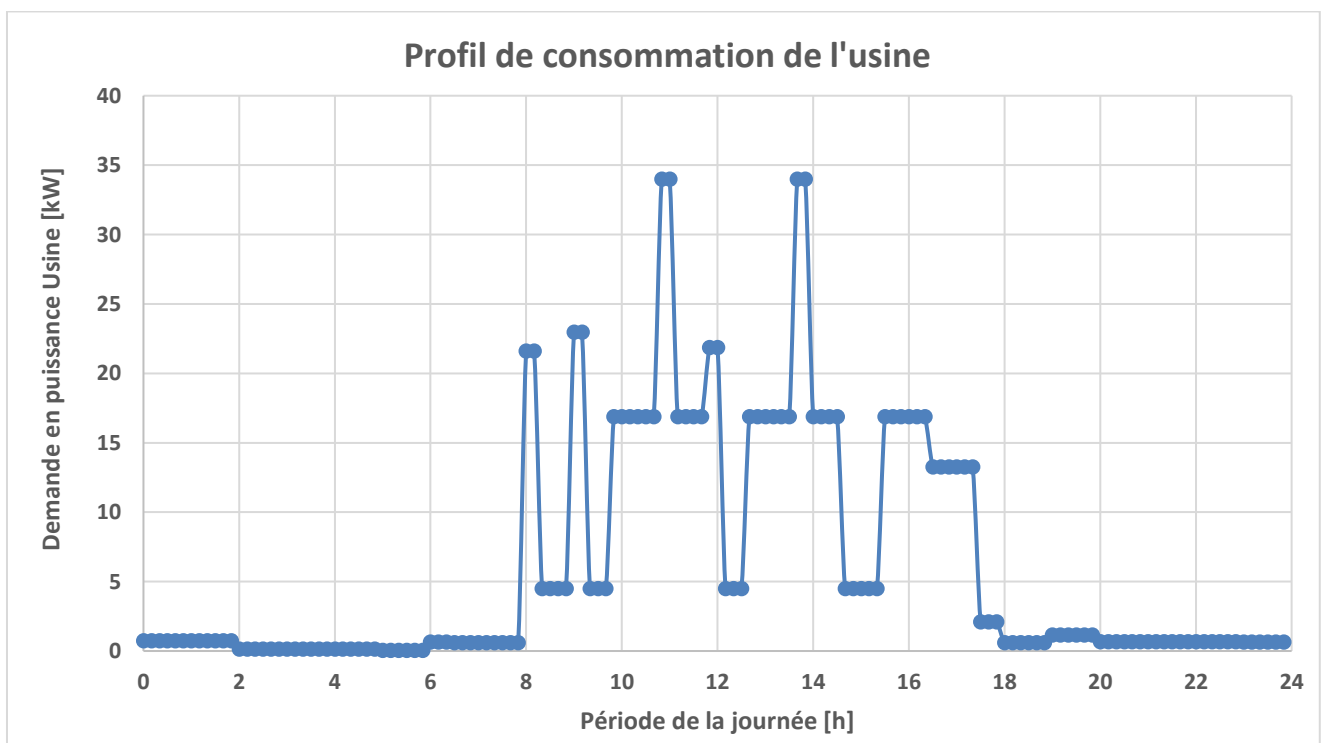
*Tableau 9 Consommation électrique d'une journée type*

Consommation électrique sur une journée	
Consommation de 0800-1630 [kWh]	129
Consommation le reste du temps [kWh]	22
<b>Consommation totale [kWh]</b>	<b>151</b>
Puissance maximale de l'usine [kW]	34

Tableau 10 Détails des consommations électriques

	Consommation électrique journalière [kWh]	Durée de fonctionnement par jour [h]
Machines d'extraction d'huile	100,25	8,5
Pompes de circulation de l'eau	12,35	9,5
Pompe pour l'eau de la nappe	11	20
Filtration de l'eau UV	1	20
Pompe de nettoyage machines	3,26	1
Appareils de nettoyage kärcher	3,3	0,5
Ventilation ou groupe froid	-	20
Éclairage	0,50	1
Éclairage villageois	0,1	4
Éclairage de nuit	0,43	11,5
Ordinateurs, appareils électroniques	15	10
Appareil en Standby	2,4	24
Consommation du gardien la nuit	0,5	5

Sur le graphique suivant (**graphique 2**), on peut voir les différentes demandes en puissance sur une journée. On constate que la demande en puissance n'est pas constante. Le système de production devra alors supporter ces variations de production.



Graphique 2 Allure de la consommation d'électricité pour une journée type

Les détails de toutes les répartitions des consommations se trouvent en **annexe 9**.

## 4.4. Liste des consommateurs d'énergie thermique

L'usine a besoin d'eau chaude pour le processus d'extraction ainsi que pour le nettoyage. Les calculs ont été séparés pour chaque élément que sont :

- 1) Les malaxeurs,
- 2) Le décanteur,
- 3) La centrifugeuse,
- 4) Les kärchers pour le nettoyage,
- 5) Les nettoyages internes des machines.

Dans les malaxeurs, la pâte est chauffée à environ 45°C puis elle est envoyée dans les décanteurs et mélangée avec de l'eau. Cette eau est préalablement chauffée afin d'éviter des chocs thermiques ; il en va de même pour l'eau utilisée dans la centrifugeuse.

Pour ce qui est de l'eau de nettoyage, elle sera à température de 55°C qui est la température habituelle de l'ECS.

## 4.5. Calculs de consommation thermique

Les calculs ont été faits avec la formule suivante :

$$Q = m * C * \Delta T$$

Pour le malaxeur, aucune information quant à la consommation thermique n'est disponible. On sait que la pâte doit être chauffée à 43°C. Ne connaissant pas la capacité calorifique de la pâte, les calculs sont donc faits comme s'il s'agissait d'eau. Il est néanmoins spécifié que la température circulant dans le réseau d'eau allant chauffer le malaxeur est à 53°C soit 10°C de plus que la température de la pâte.

*Tableau 11 Consommation de chaleur des malaxeurs*

Malaxeur (à l'unité)	
masse de pâte [kg]	350
C eau [J/kg*K]	4186
Température entrée [°C]	25
Température sortie [°C]	45
Delta Température [°C]	20
<b>Consommation par cycle</b>	
Énergie consommée [J]	2,93E+07
Énergie consommée [kWh]	<b>8,14</b>



Le nombre de cycles de malaxage sur une journée s'élève à 5, ce qui donne un total de **41 kWh** thermique.

*Tableau 12 Consommation de chaleur du décanteur*

Décanteur	
Masse d'eau [kg]	20
C eau [J/kg*K]	4186
Température entrée [°C]	25
Température sortie [°C]	45
Delta Température [°C]	20
<b>Consommation par cycle</b>	
Énergie consommée [J]	1,67E+06
Énergie consommée [kWh]	<b>0,47</b>

Le nombre de cycles de décantation étant égal au nombre de malaxages, le total sur une journée nous donne : **2.35 kWh** thermiques

*Tableau 13 Consommation de chaleur de la centrifugeuse*

Centrifugeuse	
Masse d'eau [kg]	20
C eau [J/kg*K]	4186
Température entrée [°C]	25
Température sortie	45
Delta Température	20
<b>Consommation par cycle</b>	
Énergie consommée [J]	1,67E+06
Énergie consommée [kWh]	<b>0,47</b>

Il en va de même pour la centrifugeuse qui, sur 5 cycles, consomme **2.35 kWh** thermiques.

Tableau 14 Consommation de chaleur des kärchers

Kärcher (à l'unité)	
Masse d'eau [kg]	500
C eau [J/kg*K]	4186
Température entrée [°C]	25
Température sortie [°C]	55
Delta Température [°C]	30
Consommation par heure	
Énergie consommée [J]	6,28E+07
Énergie consommée [kWh]	<b>17,44</b>

Partant du principe que, sur une heure de nettoyage, l'eau sera utilisée à environ 50% du temps, cela donne, avec les 3 kärchers fonctionnant durant une demi-heure : **26 kWh** thermiques sur une journée.

## 4.6. Synthèse des consommations thermiques

Tableau 15 Bilan thermique de l'usine

Consommation thermique de l'usine [kWh]	
Machines d'extraction	45
Nettoyage	26
<b>Total</b>	<b>72</b>

Le total de consommation thermique de l'usine sur une journée s'élève à **72 kWh**

## 5. Production d'énergie électrique

Avec la courbe de charge de l'usine faite précédemment, il est maintenant possible de dimensionner un système capable de répondre à cette demande. La consommation journalière de l'usine s'élevant à environ 150 kWh avec une puissance maximale à fournir de 35 kW.

L'usine doit pouvoir fonctionner dans un premier temps sans énergie renouvelable. Ayant besoin à la fois d'énergie électrique et d'énergie thermique, le système le mieux adapté est un groupe de cogénération fonctionnant au diesel.

Exemple sur le marché : L'entreprise GELEC propose des groupes de cogénération au diesel capable de fonctionner en Afrique (voir **annexe 14**).

*Tableau 16 caractéristique groupes cogénération GELEC*

Groupe cogénération GELEC				
Modèle	Puissance [kVA]	Puissance électrique [kW]	Puissance thermique [kW]	Prix [CHF]
Panther 42YC	37,5	30	21	12'543
Panther 55YC	50	40	21	12'463
Panther 70YC	62,5	50	21	13'098

Dans notre cas, le modèle le mieux adapté est le Panther 55YC. A noter qu'il sera important d'effectuer des mesures précises des appels de courant de l'usine lors des démarrages des machines car, les groupes cogénérations ne supportant pas les forts appels, cela peut endommager les moteurs. Reste à voir si des softs starts (élément permettant d'atténuer ces appels) suffisent à limiter ces pics de courant.

Dans un second temps, il serait intéressant de pouvoir faire fonctionner l'usine avec des énergies renouvelables. Suite à l'analyse faite au chapitre 1.3, nous pouvons dire que le système le mieux adapté à mettre en place est un système à base d'énergie solaire, l'hydraulique et l'éolien n'étant ici pas envisageables. C'est donc une installation photovoltaïque qui sera simulée afin d'évaluer le potentiel de production.

## 5.1. Dimensionnement de l'installation solaire photovoltaïque

Pour avoir des valeurs de production d'énergie, des simulations ont été faites sur le logiciel PVsyst version 6.63. Celles-ci ont permis de comparer différents scénarios de production et, ainsi, de pouvoir peser le pour et le contre de chaque variante.

### 5.1.1. Simulation PVsyst

Ce logiciel permet de faire des simulations d'installations solaires de façon dynamique dans le temps en sortant toute sorte d'informations comme la quantité d'énergie produite durant la période étudiée, le rendement de l'installation, l'utilisation des batteries, etc.

Le logiciel nous demande d'entrer un fichier météo de la région à simuler puis d'entrer certains paramètres comme l'orientation des panneaux solaires, les besoins de l'utilisateur ainsi que déterminer la puissance ou la surface de l'installation solaire, sans oublier la capacité de stockage. Sur la base des données entrées il nous ressort la production d'énergie faite durant la période simulée.

Pour effectuer la simulation dans les conditions les plus proches de la réalité, le fichier météo de la région entre les villages de Khonia et Fanyetta a été pris. Ensuite, afin d'optimiser la production solaire, l'usine a été placée avec les pans du toit orientés est-ouest étant donné que la Guinée se situe vers l'équateur. Une inclinaison de 5° a été choisie afin de permettre un écoulement naturel de l'eau. Si l'inclinaison n'est pas suffisante pour l'évacuation de l'eau, elle peut être changée car cela n'influence que très peu le rendement : par exemple avec une inclinaison de 10° on ne perd que 0.4% de production.

Les deux figures suivantes (**figures 21 et 22**) montrent la position du toit choisie ainsi que les valeurs optimales d'orientation et d'inclinaison.

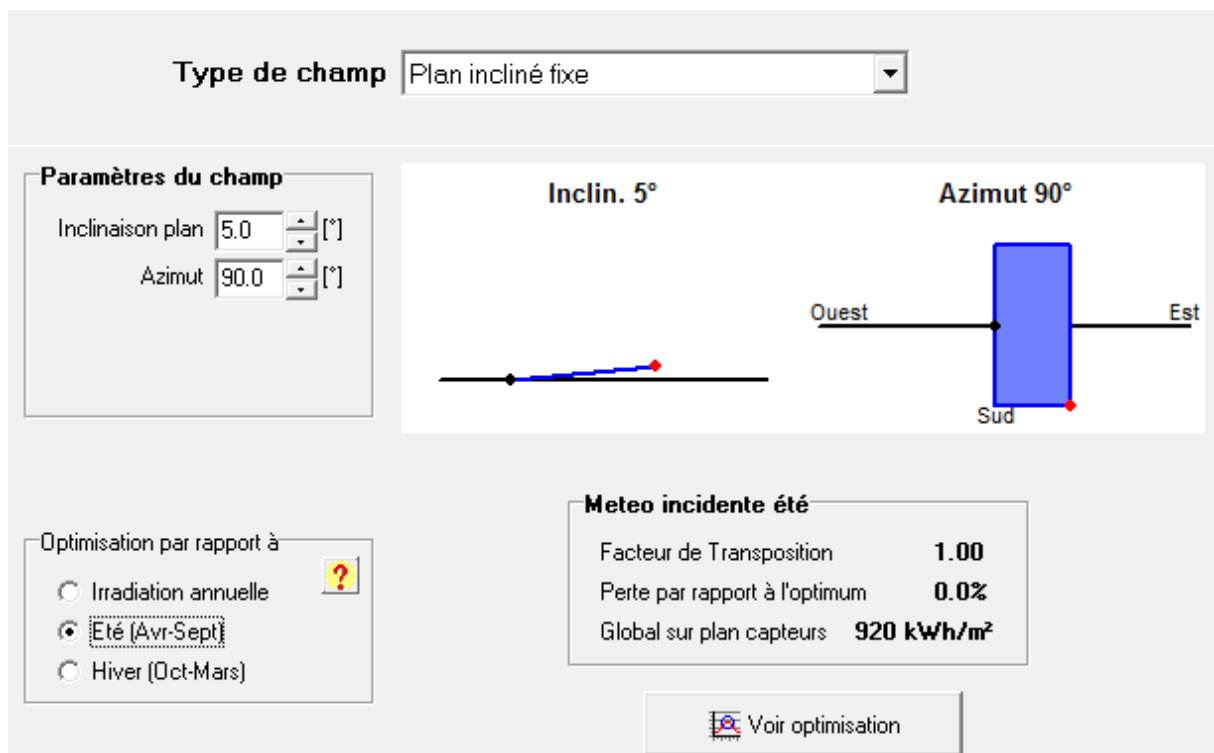


Figure 21 Positionnement de l'installation solaire

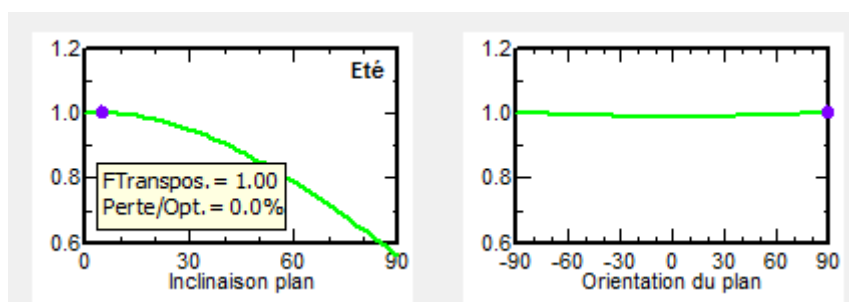


Figure 22 Valeurs optimales

Les panneaux utilisés sont de type poli-cristallin de 250Wp, 25V 60 cellules. Ceux-ci sont pris de la librairie de PVSyst et ce sont des valeurs standards qui se trouvent sur le marché. Pour les besoins de l'utilisateur, la courbe de charge faite au point 8.1.2 a été suivie. Seulement le logiciel ne permettant pas d'être aussi précis que sur Excel, la courbe est

adaptée en conséquence, tout en gardant le profil global de consommation ainsi que l'énergie dépensée sur la journée.

Pour ce qui est du système, plusieurs scénarios ont été testés afin déterminer la taille idéale de l'installation. Trois différentes surfaces de panneaux ont été simulées avec, pour chaque surface, trois volumes de stockage différents.

## 5.1.2. Résultats selon les stratégies

Les résultats des trois différents scénarios testés sont résumés dans le **tableau 16**. Les rapports PVsyst complets sont disponibles en **annexe 11**.

Le tableau ci-dessous indique l'énergie manquante sur la période de production, soit de mars à août, l'énergie produite utilisée par l'usine ainsi que l'énergie non utilisée, c'est-à-dire l'énergie qui pourrait être produite, mais qui est « perdue » en raison de la pleine charge des batteries et de la satisfaction de la demande. C'est cette énergie en trop qu'il serait intéressant de mettre à disposition des villageois. C'est en général entre 11 heures et 18 heures que l'énergie solaire est suffisante (voir **annexe 12**) c'est donc durant cette période de surproduction qu'il serait envisageable de leur fournir de l'énergie.

*Tableau 17 Résultats des simulations PVsyst*

Scénarios	Surface de panneaux [m2]	Puissance nominale [kWc]	Capacité batterie [kWh]	Énergie manquante [kWh]	Pourcentage d'énergie manquante [%]	Énergie utilisée [kWh]	Énergie non utilisée [kWh]
1	600	90	210	0	0	27'380	39'000
2			150	0	0	27'380	37'000
3			50	2260	8,3	25'120	30'600
4	400	60	210	535	2	26'840	16'388
5			150	611	2,2	26'770	16'853
6			50	2124	7,8	25'250	15'747
7	200	30	210	6409	23,4	20'970	0
8			150	6164	22,5	21'210	0
9			50	6345	23,2	21'030	360
10	300	46	150	1255	4,6	26'122	6'693
11	250	38	150	2457	9	24'920	2'091

### Avec 600 m2 de panneaux :

- La production faite par 90 kWc, combinée à un stockage de grande capacité, permet une autonomie complète de l'usine avec une production 100% faite avec des énergies renouvelables ; malheureusement, plus de la moitié de l'énergie produite n'est pas utilisée.

### Avec 400 m2 de panneaux :

- Avec 60 kWc et un bon stockage, on arrive presque à satisfaire la totalité des besoins. Mais là aussi, il y a une grande quantité d'énergie non utilisée. On constate que passer

de 150 à 210 kWh ne permet pas une amélioration significative du système, la quantité d'énergie utilisée étant presque la même.

**Avec 200 m2 de panneaux :**

- Avec ce système, la quantité d'énergie manquante est conséquente. Cela nécessite un fonctionnement du groupe cogénération d'environ 150 heures.

**Avec 300 m2 et 250 m2 de panneaux :**

- Ces systèmes permettent une grande autonomie avec le solaire.

Ces valeurs proviennent de simulation et, dans un cas réel, cela risque d'être relativement différent.

### 5.1.3. Schéma des installations électriques

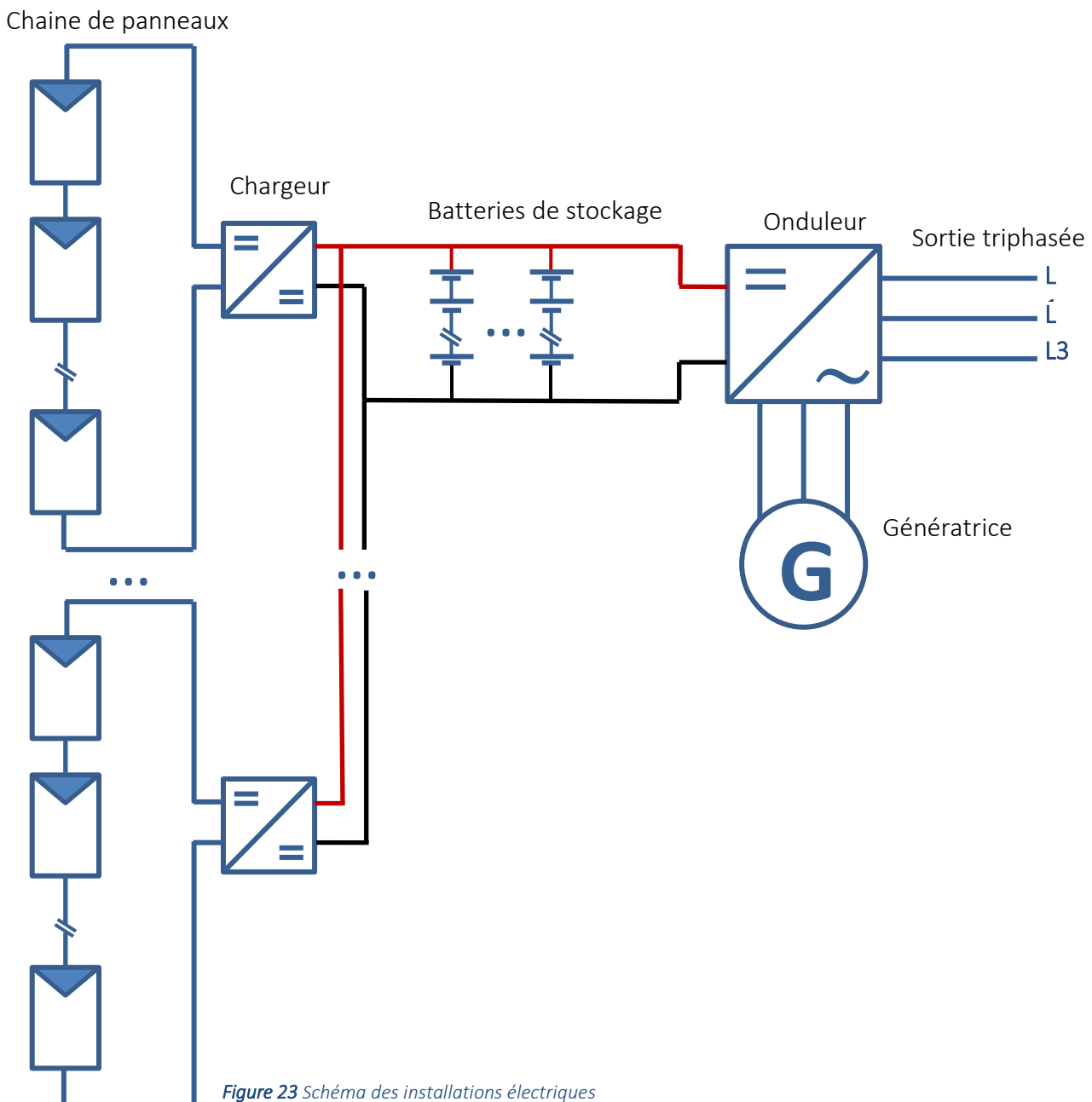


Figure 23 Schéma des installations électriques

Ce système avec chargeurs permet d'activer ou de couper les chaînes de panneaux en fonction du niveau des batteries. Cela permet d'adapter la puissance de production en fonction de la demande. On évite ainsi un endommagement prématuré des installations.

## 5.1.4. Coût des installations électriques

En se référant aux éléments sur le marché, il est possible de ressortir un prix au W et Wh pour les éléments de l'installation. Ces prix sont sans compter le transport et l'installation, d'autres frais seront par ailleurs à prendre en compte lors de la prévision du budget.

Les prix mentionnés ci-dessous sont faits sur la base du catalogue de l'entreprise Studer, et d'articles sur le marché [29].

*Tableau 18 Prix des composants*

Composant	Coût
Onduleur	0,97 CHF/W
Panneaux	1 CHF/W
Chargeur MPPT	0,35 CHF/W
Batterie	0,17 CHF/Wh

*Tableau 19 Coûts du solaire PV*

Puissance Installation	Capacité batterie	Prix Solaire	Prix stockage	Prix total
90 kW	210	175'397	71'400	246'797
	150		51'000	226'397
	50		17'000	192'397
60 kW	210	134'751	71'400	206'151
	150		51'000	185'751
	50		17'000	151'751
30 kW	210	94'106	71'400	165'506
	150		51'000	145'106
	50		17'000	111'106
45 kW	150	115'783	51'000	166'783

Si les batteries [30] sont au plomb, il faut prendre en compte le fait qu'il faut les changer tous les 6-8 ans. De plus, elles ne peuvent être déchargées qu'à 50%, c'est pourquoi les coûts sont faits avec une capacité deux fois supérieure.

Tableau 20 Coût de fonctionnement du groupe cogénération

Coût du groupe cogénération		
Consommation à 75% de la puissance	10,8	[l/h]
Prix du diesel Guinée	0,86	[\$/l]
Coût à l'heure	9,288	[\$/h]

Les coûts pour le groupe cogénération, sans compter le transport du diesel, sont de 9.29 dollars pour produire 30 kWh. Ce qui fait, pour une journée de 150 kWh, un coût de 46.5 dollars. Ce qui représente annuellement 8'360 dollars si l'usine ne fonctionne qu'avec le diesel.

### 5.1.5. Bilan

Avec les scénarios 1 à 6 et 10, le solaire fournit une grande quantité - voire la totalité dans le cas 1 et 2 - de l'énergie nécessaire. Cependant avec ça, le groupe cogénération ne fonctionnera que très peu durant l'année. Et il est préférable de le faire tourner quand même de temps en temps (au moins 5-10 heures par semaine). C'est pour cela qu'un système proche des scénarios 7-9 semble préférable.

L'installation de panneaux solaires photovoltaïques permet une certaine économie (voir **tableau 20**) sur la consommation de diesel du groupe cogénération. L'économie est encore plus grande, car pour les calculs, seul le prix du diesel a été considéré, sans les coûts supplémentaires occasionnés par l'approvisionnement jusqu'à l'usine.

Tableau 21 Économies annuelles sur le diesel

Scénarios	Surface de panneaux [m2]	Puissance nominale [kWc]	Coût diesel [\$]	Économie annuelle sur le diesel [\$]
1	600	90	0	8'359
2			0	8'359
3			700	7'660
4	400	60	166	8'194
5			189	8'170
6			658	7'702
7	200	30	1'984	6'375
8			1'908	6'451
9			1'964	6'395
10	300	46	389	7'971
11	250	38	761	7'599



## 6. Production d'énergie thermique

### 6.1. Dimensionnement de l'installation thermique

L'énergie thermique sera apportée de deux façons : une partie sera produite par des panneaux solaires thermiques et l'autre par un groupe cogénération.

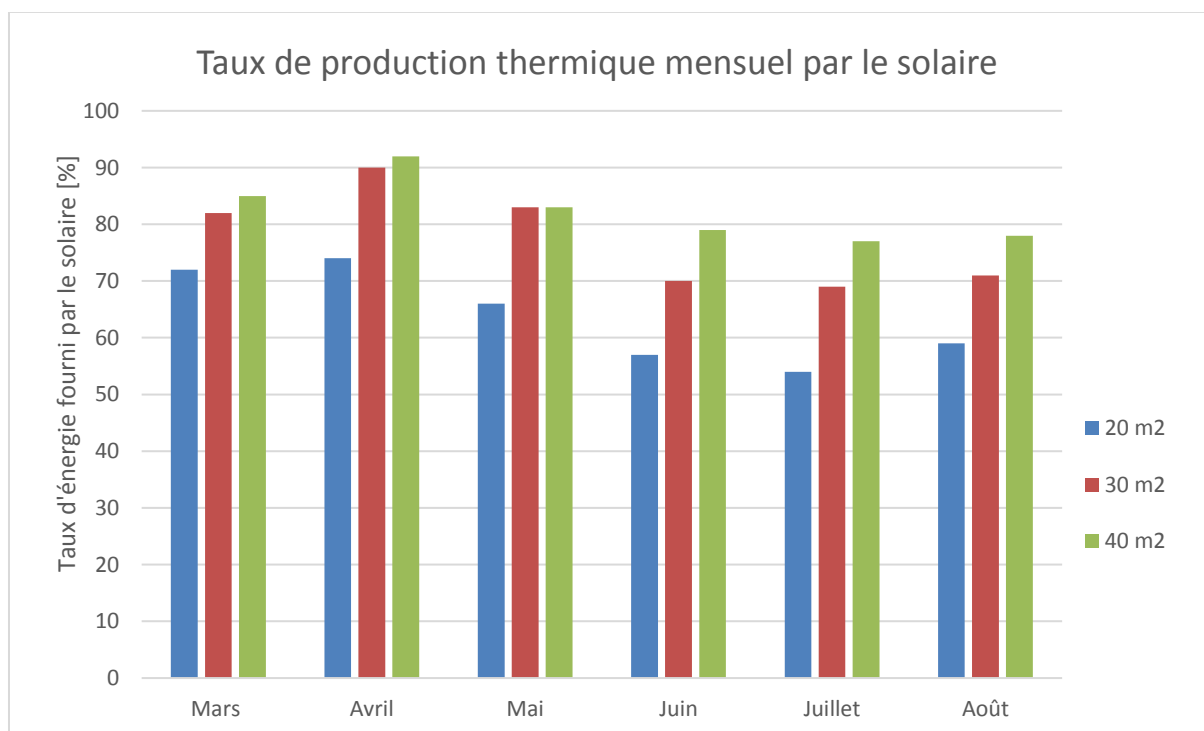
L'énergie nécessaire par jour est de 72 kWh → 2160 kWh par mois

Une simulation avec le logiciel Polysun a permis d'obtenir la quantité d'énergie thermique produite selon la dimension de l'installation solaire.

#### 6.1.1. Simulation Polysun

Les paramètres entrés dans Polysun ont été la quantité d'énergie thermique consommée par jour ; trois surfaces de panneaux ont été testées et comparées. Les rapports Polysun sont en **annexe 13**.

#### 6.1.2. Résultat de la simulation



Graphique 3 Production solaire thermique

### 6.1.3. Schéma des installations thermiques

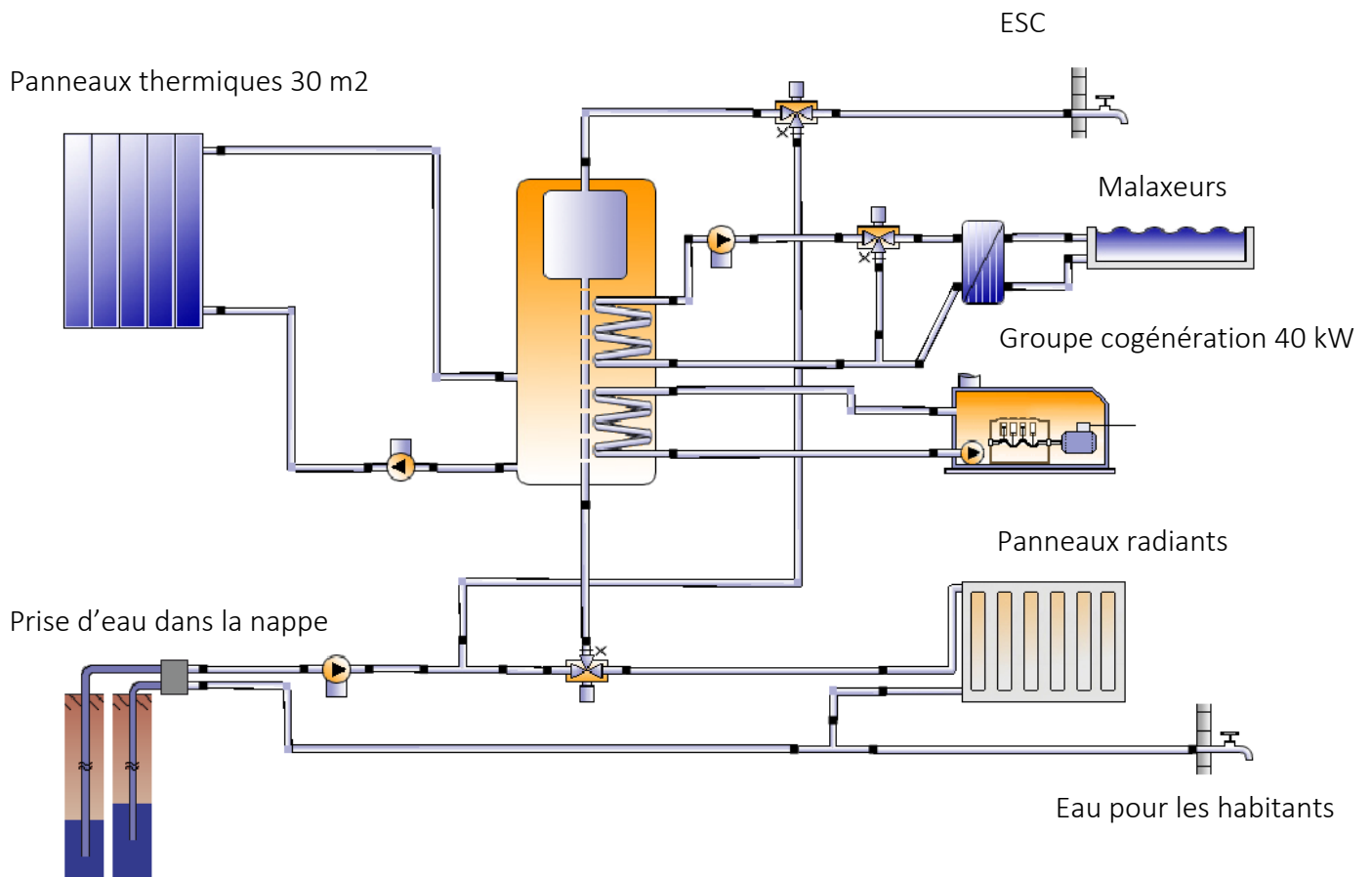


Figure 24 Schéma des installations thermiques

## 6.2. Coût des installations thermiques

Afin d'avoir une idée de l'investissement de l'installation solaire thermique, sans compter les conduites, ni l'installation, transport, etc., une recherche de composants sur internet a été faite [28].

On arrive à environ 450 francs pour 2 m<sup>2</sup> de panneaux solaire thermique plan.  
Et entre 1000 et 2000 francs pour les ballons d'eau chaude.

Ce qui nous fait un total pour 30 m<sup>2</sup> entre **7000-8000 francs**.

## 6.3. Bilan

Suivant la surface de panneaux, on arrive à satisfaire entre 60% et 80% de la demande. Ce qui fait qu'il manque, en moyenne entre 29 et 15 kWh thermiques par jour, ceci faisant que, lors du nettoyage, les températures seront plus basses que 55°C. Cependant, le groupe cogénération, d'une puissance thermique de 21 kW, permettrait de combler ce manque en ne fonctionnant qu'une heure par jour.

## 7. Énergie mise à disposition des personnes locales

Comme mentionné plus haut, il serait intéressant, avec cette usine, de pouvoir mettre à disposition des villageois un peu d'énergie électrique. Une idée de réseau jusqu'au village est, dans un premier temps, trop compliquée pour être envisagée, car il faudrait tirer des centaines de mètres de câbles en respectant les normes de sécurité. En revanche, une possibilité qui pourrait être intéressante serait de réserver une zone extérieure de l'usine avec des prises 230V et des robinets à disposition des gens.

Lorsque la production dépasse la consommation et que les batteries sont complètement chargées, l'énergie serait ainsi mise à disposition des gens. Les prises seraient alors enclenchées à l'aide de relais pilotés par l'automate de l'usine.

Pour la mise à disposition de l'eau, du moment que la pompe de circulation d'eau des panneaux climatiques est enclenchée, l'eau est utilisable pour les villageois. Ce qui représente, lorsque l'usine est en fonction, toute la journée avec une coupure de 2 heures à 6 heures le matin.

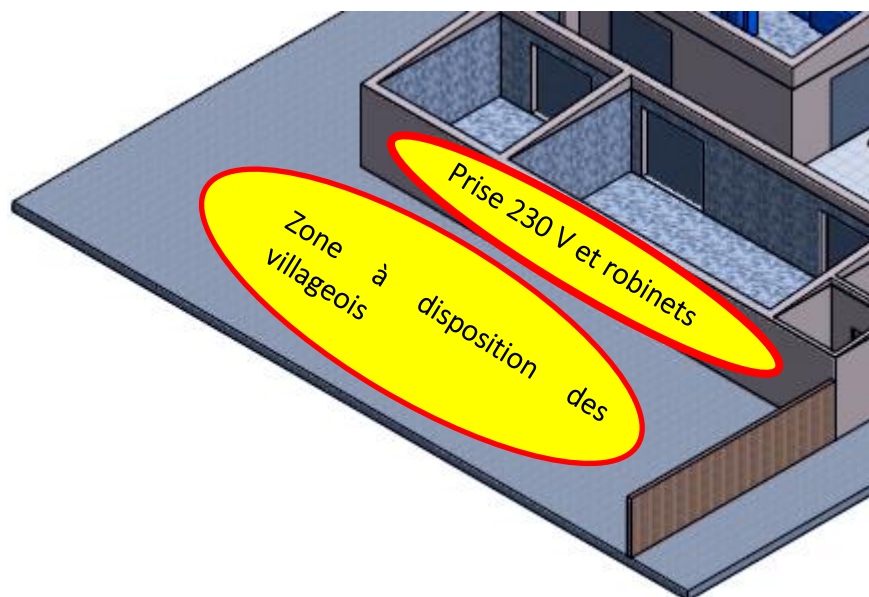


Figure 25 Zone de distribution d'énergie pour les villageois

Suivant les scénarios proposés plus loin, au chapitre 9, la quantité d'énergie à disposition des villageois est différente. Pour avoir une idée sur les besoins qu'ils pourraient avoir, voici une liste de consommation de quelques éléments :

- Recharge de téléphone portable : 10-15Wh [26]
- Recharge d'ordinateur portable : 50-60 Wh
- Recharge de batterie plomb (voiture) : 100-200Wh [27]

L'éclairage de la zone indiquée à la **figure 25** a déjà été pris en compte dans la consommation standard de l'usine.

Lors de la période où l'usine ne fonctionne pas, presque la totalité de l'énergie est alors à disposition des gens. La seule consommation de l'usine sera alors de charger de temps en temps les batteries afin d'en éviter une dégradation prématurée et faire fonctionner les appareils comme les onduleurs et les automates.

## 8. Réseau électrique

L'usine aura, comme niveau de tension, du 230 V monophasé pour l'éclairage, les appareils électroniques, etc., et du 400 V triphasé pour le fonctionnement des machines d'extraction. Les automates fonctionnent en général avec des tensions de 24 V [25], mais un transformateur est en général intégré à l'appareil lui permettant de se brancher au 230 V.

Afin de permettre une gestion idéale de l'usine, il serait intéressant que les automates soient pilotables à distance. Cela donnerait à des spécialistes en Europe la possibilité de dépanner et avoir une vision sur le fonctionnement et la consommation de l'usine.

Tous les éléments électriques de l'usine seront reliés à un automate afin de permettre un contrôle optimal de la consommation et de son fonctionnement.

## 9. Scénarios développés

Suite à cette pré-étude il est possible de sortir les scénarios les plus intéressants.

### 9.1. Scénario 1

Le premier scénario serait de mettre 200 m<sup>2</sup> de panneaux solaires photovoltaïques avec 150 kWh de capacité de stockage ainsi que 30 m<sup>2</sup> de panneaux thermiques. Avec ce système, il manque 6164 kWh durant la période de fonctionnement de l'usine, c'est là que le groupe cogénération intervient.

Cela représente 154 heures de fonctionnement à 40 kW. Si tous les deux jours en moyenne, on le fait fonctionner durant deux heures, on arrive à combler le manque d'énergie et produire un peu pour les habitants des villages alentour.

nombre de jours par mois \* nombre de mois \* nombre d'heures par jour \* puissance de fonctionnement

→  $15 \text{ jours} * 6 \text{ mois} * 2 \text{ heures} * 40 \text{ kW} = 7200 \text{ kWh}$

Cela donnerait en moyenne 5.8 kWh par jour pour les gens externes à l'usine.

Ce scénario est à priori le plus adapté pour l'usine du moment. Avec les bilans énergétiques suivants :

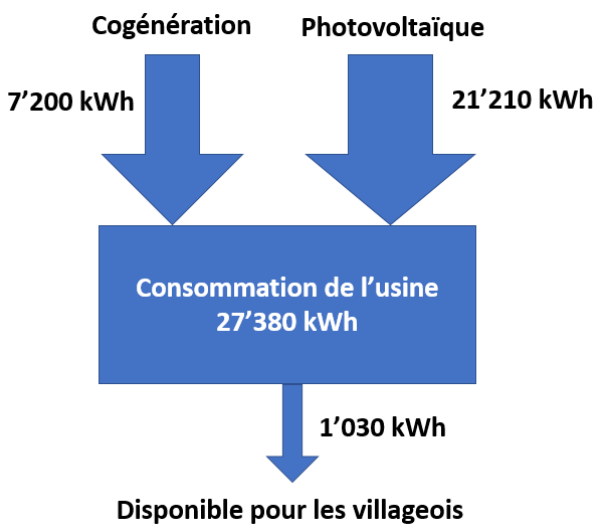


Figure 27 Bilan de l'énergie électrique de l'usine sur une année

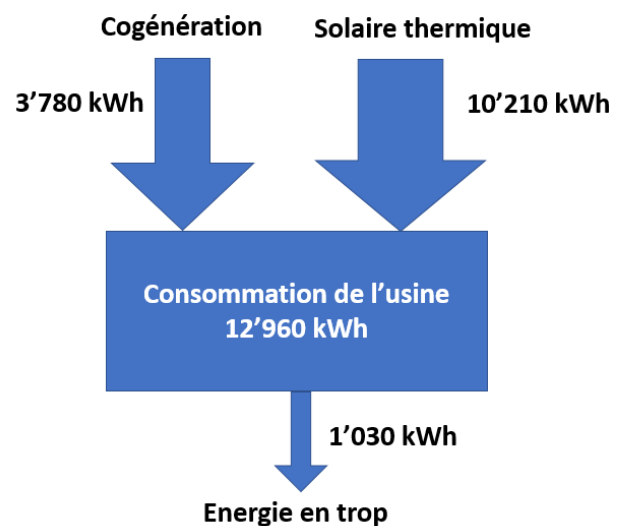


Figure 26 Bilan de l'énergie thermique de l'usine sur une année

## 9.2. Scénario 2

Le scénario 2 serait de mettre 250 m<sup>2</sup> de panneaux et une batterie de 150 kWh. Là, l'énergie à fournir supplémentaire serait de 2457 kWh. Cela représente 62 heures à 40 kW. Si l'on part du principe que le groupe cogénération fonctionnerait 2 heures tous les 4 jours. Afin de le faire fonctionner plus souvent il est possible de le faire tourner à plus bas régime, par exemple 60%.

Avec ce scénario, l'énergie qui pourrait être fournie aux villageois est d'environ 11.5 kWh par jour.

### 9.3. Scénario 3

Avec ce troisième scénario, on aurait le toit recouvert de panneaux solaires soit 600 m<sup>2</sup> avec 150 kWh de stockage et 30 m<sup>2</sup> de solaire thermique. Ce système permet de faire fonctionner l'usine uniquement sur une base solaire. Et la quantité disponible pour les villageois est conséquente du moment où ils viennent consommer entre 11 heure et 18 heure là où le soleil produit à son maximum. L'énergie qu'ils auraient à disposition est d'environ 200 kWh par jour. Le seul point négatif de ce scénario est que le groupe cogénération ne fonctionnerait jamais, sauf en cas de panne du système photovoltaïque, la question de savoir si cela pose problème ou non restant réservée.

## IV. Prochaines étapes

Lorsque les machines seront à disposition, elles seront dans un premier temps installées dans le centre agronomique à Kindia, il serait alors très intéressant d'effectuer des mesures précises de la consommation journalière de l'installation ainsi que d'avoir une idée des appels de courant. Cela permettra d'affiner la courbe de demande pour dimensionner l'installation solaire et confirmer les dimensionnements des éléments tels que le groupe électrogène et s'assurer que les batteries sont capables de fournir le courant requis.

## V. Conclusion

Suite à cette pré-étude, il est possible de dire qu'une installation solaire combinée à un groupe cogénération Diesel permet de satisfaire la demande énergétique de l'usine lui permettant un fonctionnement stable durant les 6 mois d'extraction. On peut aussi dire que ces installations permettent de fournir aux villageois de l'eau et une quantité d'électricité, plus ou moins élevée suivant les scénarios, durant toute l'année avec une quantité plus limitée pour l'électricité lors du fonctionnement de l'usine.

Ces résultats sont, bien sûr à prendre avec réserve dans la mesure où beaucoup d'éléments sont basés sur des hypothèses. On peut cependant dire que le projet est faisable, mais qu'une étude approfondie avec des valeurs réelles devra être effectuée afin de pouvoir dimensionner précisément toutes les installations et de s'assurer de la rentabilité du projet.

Une installation comme celle-ci permet de fournir de l'énergie même en période de non-fonctionnement de l'usine. Élément intéressant pour les personnes des villages alentours qui pourront profiter pleinement de cette électricité à ce moment-là.

Donc faire fonctionner cette usine principalement à l'aide d'énergies renouvelables n'est pas une idée irréalisable.

Date et signature

## VI. Logiciels utilisés

PVsyst version 6.63 : Pour les simulations solaires photovoltaïques.

Polysun version 9.2 : Pour les simulations solaires thermiques.

Bsol pro version 4.1.14 : Pour les simulations d'isolation des locaux de stockage.

## VII. Références

- [1] Association « Enfants des collines ». Kibili\_Infographie.pdf. 2015. 90 p. Ce fichier PDF est disponible dans le dossier électronique fourni en annexe.
- [2] BARON P, BLAISE I, COLLE A, KON WA KWAN FIN L, LASSUS C, NICOD T, SABIANI A, SETTON E. Document final MJE BEES Livrable commanditaire -3.pdf. 2017. 100 p. Ce fichier PDF est disponible dans le dossier électronique fourni en annexe.
- [3] Guinée. Google Maps. Mai 2017. Disponible sur : <https://www.google.fr/maps>
- [4] Météo Climat. Données climatiques de la station de Conakry. Consultation en mai 2017. Disponible sur : <http://www.meteofrance.com/climat/monde/conakry/0061832>
- [5] Données du logiciel Bsol, fournies par Monsieur Dervev, professeur à la HES-SO valais. TD\_Bonard\_-\_Guinée-hour.dat. Juillet 2017. Ce fichier se trouve dans le dossier électronique fourni en annexe.
- [6] Système d'information énergétique de Guinée. Potentiel solaire. Consultation en mai 2017. Disponible sur : <http://www.sieguinee-dne.org/index.php/8-sie/9-potentiels-solaire-en-guinee.html>
- [7] Solaire1300. Le rayonnement solaire en Suisse. Consulté en juin 2017. Disponible sur : <http://www.solaire1300.ch/f/technologie-solaire/rayonnement-solaire-delivre-par-heure.asp>
- [8] Avila N, Pablo Carvallo J, Shaw B, Kammen D. Le défi énergétique en Afrique subsaharienne : Guide pour les défenseurs et les décideurs, partie 1. 2017. 86 p. Consulté en août 2017. Disponible sur : <https://www.oxfamamerica.org/static/media/files/oxfam-RAEL-energySSA-pt1-fr.pdf>
- [9] Hopeful Wind Energy Technology. Mini éolienne : V1(300W Vertical Axis Wind turbine). Consultation juin 2017. Disponible sur : [http://fr.hopefulenergy.com/products\\_detail/productId=25.html](http://fr.hopefulenergy.com/products_detail/productId=25.html)
- [10] fr.getamap.net. Latitude 10°6'58" : Longitude -13°7'33". Consulté en juin 2017. Disponible sur : <http://fr.getamap.net/latitudeandlongitude.html>
- [11] Association « Enfants des collines ». BasicDesign\_Kibili\_v0.2.xls. Ce fichier Excel est disponible dans le dossier électronique fourni en annexe.
- [12] Association « Enfants des collines ». 2) Maquette 5 ans.xlsx. Ce fichier Excel est disponible dans le dossier électronique fourni en annexe.
- [13] FruitTropOnline. Cirad. L'avocat après récolte. Publié le 02.10.2015. Consulté en Juin 2017. Pp. 98-102. Disponible sur : [http://www.fruitrop.com/Articles-Web/Emballage-et-conservation/2015/L-avocat-apres-recolte#eztoc309442\\_0\\_0\\_2](http://www.fruitrop.com/Articles-Web/Emballage-et-conservation/2015/L-avocat-apres-recolte#eztoc309442_0_0_2)

- [14] Alfa Laval. Alfa Oliver 500. Consulté en juin 2017. Disponible sur : <http://www.alfalaval.com/products/process-solutions/olive-oil-solutions/Olive-oil-systems/Alfa-Oliver-500/>
- [15] Pietri D. ESSAIS TRITURATION AVOCATS LE 22.pdf. Publié le 15.07.2017. 24 p. Ce fichier PDF est disponible dans le dossier électronique fourni en annexe.
- [16] Alfa Laval. Oliver500.pdf. Disponible sur : [http://www.floridaolivecouncil.org/FOC/Research\\_files/AlfaOliver%20500\\_korr3\\_72dpi.pdf](http://www.floridaolivecouncil.org/FOC/Research_files/AlfaOliver%20500_korr3_72dpi.pdf)
- [17] e-POMPES. Pompe Grundfos SP 3A. Consulté en juin 2017. Disponible sur : <http://www.e-pompes.com/grundfos/52-pompe-grundfos-sp-3a.html>
- [18] EUROPAGES.fr. Filtre AOT. Consulté en juin 2017. Disponible sur : <http://www.europages.fr/HORUS-ENVIRONNEMENT/00000003828645-000020567001/pdf/Filtre%20AOT~10.html>
- [19] L'EXPO PERMANENTE. Lampes UV pour le traitement de l'eau. Consulté en juin 2017. Disponible sur : <http://www.usinenouvelle.com/expo/lampes-uv-pour-le-traitement-de-l-eau-p259540.html>
- [20] KIGO, panneaux climatiques hautement performants. brochure\_A4\_TM\_V15\_light\_2.pdf. Consulté en juillet 2017. Disponible sur : [http://www.kigo-swiss.ch/jt\\_files/pdf/brochure\\_A4\\_TM\\_V15\\_light\\_2.pdf](http://www.kigo-swiss.ch/jt_files/pdf/brochure_A4_TM_V15_light_2.pdf)
- [21] Donnée fournie par Monsieur Dervey, professeur à la HES-SO valais. 020TD\_Bonard\_-\_Guinée-mon.txt. Ce fichier texte est disponible dans le dossier électronique fourni en annexe.
- [22] Code du travail, législation Française. Article R.4223-1. Consulté en juin 2017. Disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?idSectionTA=LEGISCTA000018532273&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20091222>
- [23] ADDIS Lighting. Puissance, Flux lumineux et Angels lumineux. Consulté en juin 2017. Disponible sur : <https://addislighting.com/technologie-led/puissance-flux-lumineux-et-angle-lumineux/>
- [24] ESPACELED. Plafonnier étanche à LED. WS Séries. Consulté en juin 2017. Disponible sur : <http://www.espaceled.fr/public/files/576418a6dfa45.pdf>
- [25] Technic-Achat. Automate Domotique, Module Domotique WDM3. Consulté en juillet 2017. Disponible sur : [https://www.technic-achat.com/module-domotique-ethernet-webdatasystem,fr,4,WDM3\\_XX.cfm](https://www.technic-achat.com/module-domotique-ethernet-webdatasystem,fr,4,WDM3_XX.cfm)
- [26] Pc-Portable-Batterie.com. Consulté en juillet 2017. Disponible sur : <http://www.pc-portable-batterie.com/>
- [27] vidaxl.ch. Batterie AMG VMF à décharge profonde 12 V 12 Ah DC12-12. Consulté en août 2017. Disponible sur : [https://fr.vidaxl.ch/e/8717545594056/batterie-amg-vmf-a-decharge-profonde-12-v-12-ah-dc12-12?gclid=EAlaIqobChMI3L3JifLY1QIVzgrTCh3T7wf9EAYYASABEgK9xPD\\_BwE](https://fr.vidaxl.ch/e/8717545594056/batterie-amg-vmf-a-decharge-profonde-12-v-12-ah-dc12-12?gclid=EAlaIqobChMI3L3JifLY1QIVzgrTCh3T7wf9EAYYASABEgK9xPD_BwE)
- [28] France Chauffage Solaire. Panneau solaire thermique Plan Vitré. Consulté en août 2017. Disponible sur : <https://france-chauffage-solaire.fr/capteur-solaire/panneau-solaire-thermique-fcs-120.html>
- [29] Simple et solaire. Panneaux solaires Européens. Consulté en août 2017. Disponible sur : <http://www.simple-et-solaire.com/panneaux-solaires-europeens-208>
- [30] PowerTech. Comparaison de coût et prix du Lithium-ion. Consulté en août 2017. Disponible sur : <https://www.powertechsystems.eu/fr/home/technique/etude-de-cout-du-lithium-ion-vs-batteries-au-plomb/>



## VIII. Annexes

### 1. Format papier

1. Structure du travail
2. Données météorologique de Conakry entre les années 1981 et 2010
3. Irradiation Solaire en Afrique et en Guinée
4. Topographie de la région de Kibili
5. Plans de l'usine
6. Séquençage des machines d'extraction
7. Simulation Bsol : Isolation locaux et demande énergétique
8. Panneaux climatique Kigo
9. Calculs de consommation électrique et thermique
10. Schéma électrique Alfa Oliver500
11. Rapport PVsyst
12. Courbe de production solaire
13. Rapport Polysun
14. Groupe électrogène GELEC

### 2. Format informatique

0. Structure du travail
1. Documentation Projet
2. Etude de la région
3. Consommation de l'usine
4. Dimensionnement de l'usine
5. Production d'énergie
6. Travail de Bachelor