



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE, DE
L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE

EAI SIE 2

SESSION 2017

AGREGATION CONCOURS INTERNE ET CAER

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

**Option : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR
ET INGÉNIERIE ÉLECTRIQUE**

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE
ORGANISATION**

Durée : 4 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

LE SMART BUILDING KERGRID

Le sujet comporte 42 pages :

- **Questionnement** : pages 3 à 16
- **Documents ressources et annexes** : pages 17 à 38
- **Documents réponse DREP1 à DREP5**: pages 39 à 42

Toutes les parties sont à traiter.

Sommaire

A - Présentation	page 3
B - Présentation du site	page 5
C - Le bâtiment Kergrid et la problématique énergétique locale	page 5
D - Production d'énergie photovoltaïque du bâtiment	page 6
E - Modélisation du comportement d'une cellule photovoltaïque	page 8
F - Gestion de l'énergie	page 11
G – Conclusion générale	page 16

Présentation de l'épreuve

L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de conduire une analyse critique de solutions technologiques et de mobiliser ses connaissances scientifiques et technologiques pour élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances d'un système ou d'un processus lié à la spécialité et définir des solutions technologiques.

Conseils aux candidats

Une lecture préalable et complète du sujet est indispensable, des informations utiles sont présentes dans les documents ressources.

Il sera tenu compte de la cohérence avec laquelle les candidats traiteront les questions, le jury préférant une réflexion d'ensemble des parties abordées à un éparpillement des réponses. Certaines parties restent toutefois indépendantes.

Les candidats sont invités à numéroter chaque page de leur copie et à indiquer clairement le numéro de la question traitée.

Les candidats sont priés de rédiger les différentes parties (B à F) sur feuilles séparées et clairement repérées.

Il leur est rappelé qu'ils doivent utiliser les notations propres au sujet, présenter clairement les calculs et dégager ou encadrer tous les résultats.

Tout résultat incorrectement exprimé ne sera pas pris en compte. En outre les correcteurs leur sauront gré d'écrire lisiblement et de soigner la qualité de leur copie.

Il sera tenu compte de la qualité de rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul. Le correcteur attend des phrases complètes respectant la syntaxe de la langue française.

Il est rappelé que lors du passage d'une forme littérale à son application numérique, il est recommandé aux candidats de procéder comme suit : après avoir rappelé la relation littérale, chaque grandeur est remplacée par sa valeur numérique en respectant la position qu'elle avait dans la relation puis le résultat numérique est donné sans calculs intermédiaires et sans omettre son unité.

Si le texte du sujet, de ses questions ou de ses annexes, vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement dans votre copie.

A. Présentation

Depuis le protocole de Kyoto en 1997, une volonté de réduire la production de gaz à effets de serre a conduit au développement de l'exploitation des énergies renouvelables (ENR). Ces énergies se sont développées et sont connectées sur le réseau électrique de façon non régulée vis-à-vis du gestionnaire de réseau.

La production de ces ENR est difficilement prévisible. L'énergie n'étant pas stockable à grande échelle, ceci induit une problématique d'équilibrage production/consommation pour le gestionnaire du réseau.

D'autre part la réglementation impose des contrats de rachat et de revente d'énergie.

Les technologies de SmartGrid (gestion intelligente du réseau BT et HT) se mettent en place pour essayer de réguler ces échanges d'énergies.

Une expérimentation de ce type est mise en place en Bretagne depuis 2011 avec la création d'un bâtiment tertiaire départemental mutualisé de type bioclimatique labellisé **PassivHaus** nommé **Kergrid**.

Ce projet de bâtiment a permis de rassembler 3 organismes partenaires concernés par la gestion des ressources, de l'énergie et de l'environnement :

- le syndicat départemental de l'énergie appelé **SDEM** ;
- le syndicat départemental "Eaux du Morbihan" ;
- l'association des maires et présidents d'ECPI du Morbihan.



Figure 1. Vue du site du bâtiment Kergrid

Le bâtiment est connecté au réseau d'énergie électrique Enédis en HT. La production d'énergie locale est obtenue grâce à deux sources de production ENR (un toit solaire et deux éoliennes). Ce dispositif est complété d'un stockage sur batteries.

L'ensemble des flux d'énergie est géré à l'aide d'un dispositif de gestion appelé "**Power Management System**" (PMS) et développé par Schneider Electric.

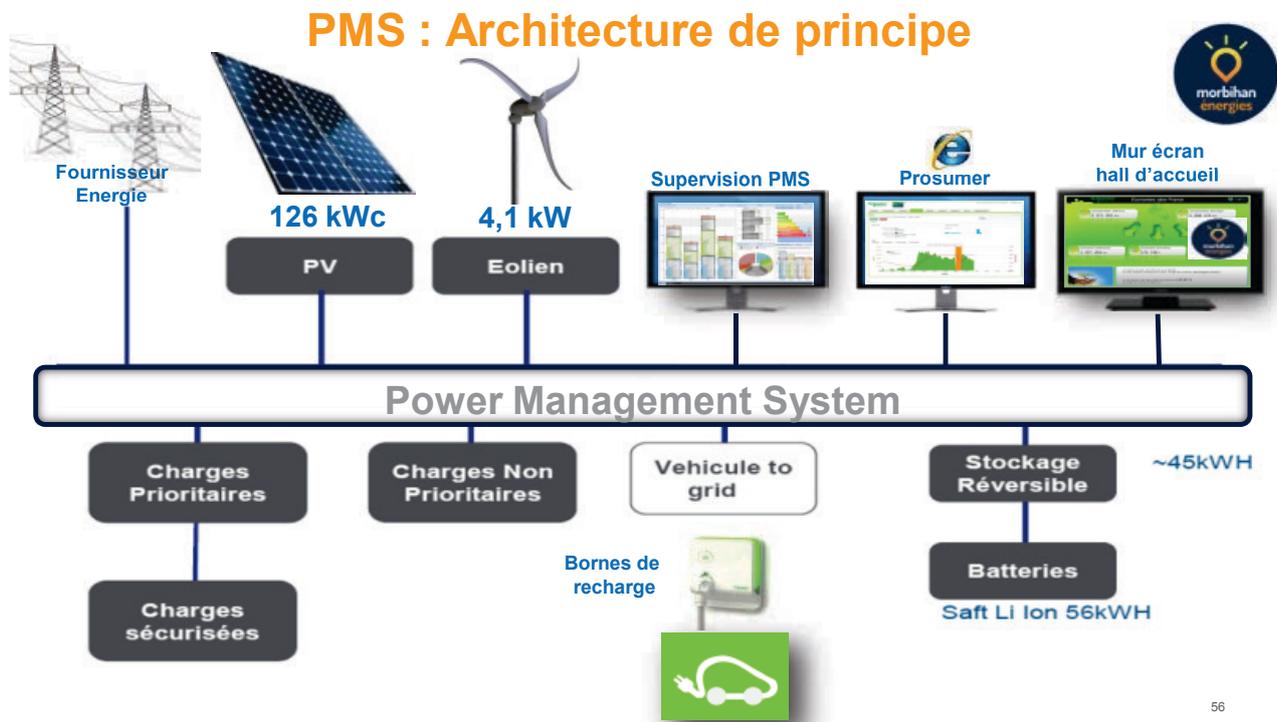


Figure 2. Présentation du dispositif de gestion de l'énergie du bâtiment

La problématique de l'étude proposée dans ce sujet est de démontrer l'intérêt de la production délocalisée et des modes de fonctionnement envisagés pour rendre ce bâtiment autonome ou acteur d'une gestion intelligente dans un réseau maillé.

B. Présentation du site

L'objectif de cette partie est de décrire l'architecture du système sur la base de son modèle SysML. Tous les éléments de justification seront précisés systématiquement et doivent venir de ce modèle.

Le diagramme de blocs vous est fourni en annexe 1.

Question 1. Sur la base du diagramme de blocs, donner les éléments de premier niveau formant le système Kergrid.

Question 2. Calculer la puissance solaire installée.

Question 3. Le client exige de pouvoir fonctionner en autonomie complète pendant 2h avec une puissance moyenne consommée de 30 kW sans apport des ENR. Déterminer si l'exigence est validée.

Question 4. Lister les éléments constituant le PMS (Power Management system).

C. Le bâtiment Kergrid et la problématique énergétique locale

Cette partie de l'étude consiste à valider la solution d'architecture énergétique de type SmartGrid.

C.1. Le bâtiment PassivHaus

Le projet du bâtiment Kergrid a démarré en 2011. Le choix constructif de bâtiment bioclimatique a conduit à retenir les contraintes réglementaires du label constructif "PassivHaus" (voir document annexe 2).

Question 5. Préciser sur quels facteurs insiste ce label et quelles sont les contraintes constructives. Comparer ce label à la réglementation RT2012.

C.2. La production locale d'énergie électrique et sa gestion

Question 6. Énoncer les contraintes d'approvisionnement d'énergie électrique dans ce type de région française et conclure quant au besoin de gérer cette énergie électrique dans le bâtiment.

C.3. Stratégie de gestion d'énergie du bâtiment

Le synoptique du monitoring de l'installation est décrit en annexe 3.

Compte tenu de l'architecture de son installation électrique, ce bâtiment permet plusieurs stratégies de gestion de l'énergie. Ces 4 stratégies sont nommées:

- autoconsommation;
- effacement du réseau;
- revente d'énergie;
- modeiloté (déconnexion du réseau d'Enedis).

Question 7. Expliciter ces modes de fonctionnement en précisant :

- les contraintes techniques d'exploitation ;
- les transferts d'énergie électrique ;
- les limites de chacune de ces stratégies ;

- les moyens de contrôle à mettre en œuvre pour cette gestion.

Conclure quant à la mise en œuvre de ces différentes stratégies de gestion.

C.4. Gestion intelligente des énergies de type SmartGrid

L'annexe 4 présente une architecture de type SmartGrid.

Question 8. Citer les éléments du bâtiment Kergrid qui justifient la pertinence de son interconnexion avec un réseau intelligent.

Question 9. Conclure quant aux solutions énergétiques déployées par valider une solution de type smartgrid.

D. Production d'énergie photovoltaïque du bâtiment

Cette partie de l'étude permet d'analyser l'apport de la production photovoltaïque et de valider les solutions techniques retenues.

La configuration du bâtiment Kergrid a permis d'implanter des panneaux photovoltaïques répartis sur les différentes toitures et faiblement ventilés.

D.1. Evaluation de la production d'énergie

L'énergie produite par ces panneaux dépend de leur implantation et de leur mise en œuvre. L'inclinaison moyenne des toitures est de 3° et l'orientation est "Sud + 15°".

Question 10. En utilisant l'extrait de la norme NF EN 15316-4 (voir DT2), estimer la production annuelle photovoltaïque en kW.h.

D.2. Equilibre production/consommation

La puissance électrique consommée par les différents équipements du bâtiment a été estimée à 88 kW. Le bâtiment fonctionne 8 heures par jour.

La production photovoltaïque prévisionnelle a été calculée grâce à une modélisation de l'installation donnée sur le DT3. De plus, le stockage batterie installé dans le bâtiment a une capacité maximale de 56 kW.h et une puissance maximale de 100 kW. On considère que l'apport d'énergie de nature éolienne est négligeable.

Question 11. À partir de ces éléments, discuter l'équilibre production/consommation d'énergie électrique du bâtiment durant les différentes périodes de l'année et sa capacité à s'effacer temporairement ou de manière plus longue du réseau d'énergie du distributeur.

D.3. Raccordement électrique des panneaux

Les panneaux sont raccordés au réseau d'énergie via 6 onduleurs de marque Schneider et de référence "Conext TL 20000" (voir DT1 puis DT4 à DT6).

Question 12. Justifier l'association des panneaux solaires au vu des caractéristiques de ces onduleurs. Calculer la puissance maximale pouvant être extraite à l'entrée des onduleurs et la puissance totale produite (voir note page suivante).

Note: On considèrera que toutes les chaînes de modules sont constituées de 22 modules.

D.4. Etude des phénomènes de masquage des panneaux solaires

L'implantation des panneaux solaires sur le bâtiment n'a pas été optimisée. Des phénomènes d'ombrage au niveau des panneaux en découlent ainsi que des limitations de production d'énergie.

Fonctionnement des cellules éclairées de façon identique

La cellule photovoltaïque unitaire ainsi que son symbole électrique sont présentés sur la figure 3. Le graphe associé indique le fonctionnement d'une cellule unitaire puis celui des **18 cellules** assemblées en série dans le panneau. Ces cellules sont éclairées de façon identique et sans masque d'ombre.

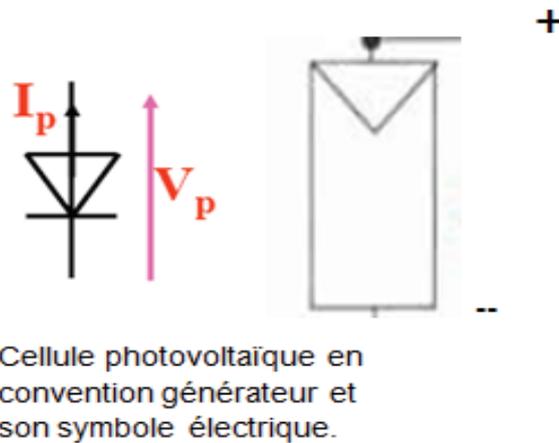


Figure 3. Cellule photovoltaïque unitaire et son symbole

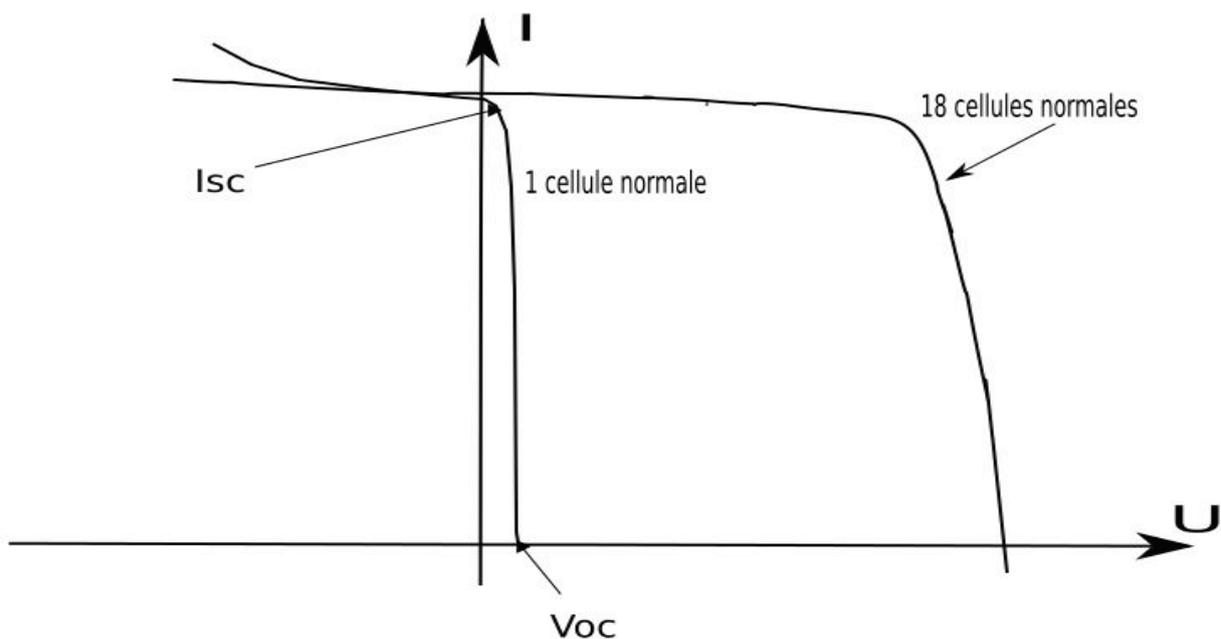


Figure 4. Caractéristique $I=f(U)$ des 18 cellules assemblées

Fonctionnement avec une cellule à l'ombre

La figure 11 du DREP1 présente le fonctionnement d'un panneau comportant 18 cellules dont 17 sont éclairées de façon identique et dont une cellule est à l'ombre à cause de l'implantation des panneaux sur la toiture.

Question 13. Tracer l'allure de la caractéristique $I = f(U)$ pour les 18 cellules sur le DREP1, figure 11. Justifier l'allure du graphe résultant et les conséquences possibles sur la cellule à l'ombre.

D.5. Éléments complémentaires d'un panneau photovoltaïque

Afin de préserver l'état des cellules lors de ces phénomènes d'ombrage, une diode By-pass est intégrée à un groupe de cellules (voir figure 5).

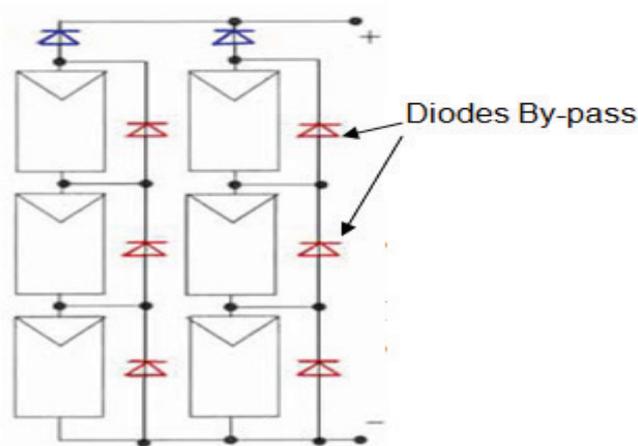


Figure 5. Cellules photovoltaïques associées à des diodes By-pass.

Question 14. Expliquer pourquoi cette solution permet de protéger le panneau en cas d'ombrage partiel.

E. Modélisation du comportement d'une cellule photovoltaïque

Cette partie de l'étude traite de la modélisation des cellules photovoltaïques en vue d'optimiser leur utilisation.

E.1. Introduction

La production d'énergie électrique sous forme photovoltaïque du système Kergrid dépend de caractéristiques météorologiques, de la technologie des panneaux, de l'implantation, etc.

Le modèle d'une cellule est utile pour optimiser la chaîne d'énergie. Cette modélisation fine permet d'estimer la rentabilité économique du système.

On se propose d'étudier un modèle de cellule photovoltaïque pour intégrer les différents paramètres dans un logiciel de simulation.

E.2. Présentation du modèle de la cellule P.V. à 4 paramètres

Il existe plusieurs schémas équivalents et modèles pour identifier les éléments d'une cellule photovoltaïque. Le modèle à 4 paramètres présenté ci-dessous traduit

correctement les évolutions des phénomènes électriques et thermodynamiques de la cellule.

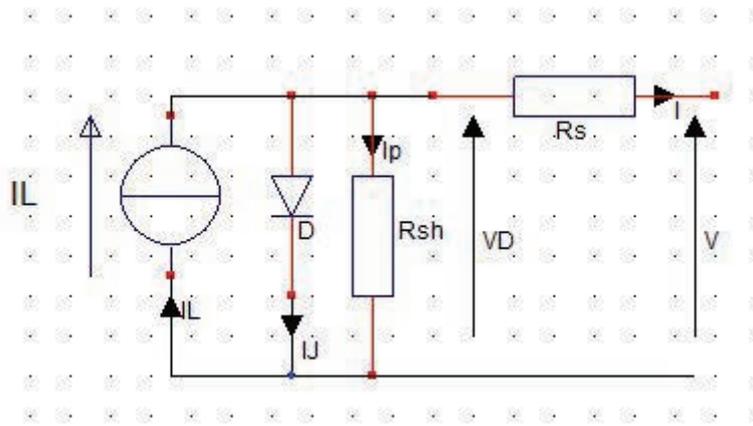


Figure 6. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

Éléments du modèle :

IL : Source de courant ou courant photonique.

D : Diode modélisant la jonction PN de la cellule.

Rsh : Résistance parallèle qui caractérise la perte de courant aux faibles éclairagements.

Rs : Résistance série liée aux différentes connexions.

E.3. Caractéristiques de la cellule en production d'énergie

Le symbole d'une jonction P-N utilisée en générateur photovoltaïque a été donné figure 3. La figure 12 du DREP1 vous présente les quadrants de fonctionnement de ce dipôle et le relevé de $I = f(V)$ de la cellule pour une irradiation nulle ($E = 0 \text{ W/m}^2$).

Question 15. Tracer sur le DREP1, figure 12, les caractéristiques $I = f(V)$ de ce dipôle pour 4 valeurs d'irradiation allant de 0 à 1000 W/m^2 et indiquer le quadrant correspondant au fonctionnement générateur utilisé lors de la production d'énergie solaire.

E.4. Elaboration du modèle de la cellule

Question 16. A partir du schéma du modèle donné figure 6, établir l'équation du courant de sortie I en fonction de I_L , I_j et I_p .

On donne l'équation caractéristique du courant I_j circulant dans la diode D :

$$I_j = I_0 \cdot (\exp^{V_d/V_t} - 1)$$

- $V_t = (k \cdot T)/q$
 - V_t : tension thermique de la diode;
 - k : constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$);
 - T : température absolue en Kelvin;

- q : charge de l'électron ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C).
- V_d : tension imposée à la diode D.
- I_0 : courant de saturation de la diode.

Question 17. A partir de l'équation de I_j et de l'expression calculée précédemment, exprimer l'équation liant les variables : I , I_L , I_0 , V , V_t , R_s , R_{sh} .

L'élaboration du modèle doit tenir compte également de la résistance R_s qui a un grand impact sur la courbe $I = f(V)$ et qui n'est pas un élément donné par le constructeur de panneau. La valeur de R_s est calculée en évaluant la pente dI/dV de la courbe $I = f(V)$ au point V_{oc} .

L'évaluation de R_s est effectuée à l'aide de l'expression ci-dessous :

$$dI = -I_0 \cdot q \left(\frac{dV + R_s \cdot dI}{n \cdot k \cdot T} \right) \cdot \exp \left(q \frac{V + R_s \cdot I}{n \cdot k \cdot T} \right)$$

où n représente le facteur de qualité de la diode et prend une valeur comprise entre 1 (diode idéale) et 2.

Question 18. Exprimer l'équation littérale de R_s en fonction de dV , dI , n , k , T , q et I_0 pour $V = V_{oc}$.

En tenant compte des éléments du modèle déterminé précédemment et des simplifications possibles (R_{sh} tend vers ∞), l'équation du courant de sortie de la cellule devient :

$$I = I_L - I_0 \left(\exp \left(q \cdot \frac{V + R_s * I}{n * k * T} \right) - 1 \right)$$

Pour pouvoir tracer la caractéristique $I = f(V)$ de la cellule à partir des éléments du modèle identifiés précédemment, la relation précédente a été transformée comme ci-dessous :

$$h(I) = I_{cc} - I - I_0 \left(\exp \left(q \frac{V + R_s * I}{n * k * T} \right) - 1 \right)$$

Pour trouver I en fonction de V , cela revient à fixer V et à résoudre l'équation $h(I)=0$.

Note: I_c est le courant de court-circuit de la cellule et a une valeur fixe pour une irradiation donnée.

Question 19. A l'aide de la méthode décrite dans le document ressource DR1, établir l'équation récurrente des éléments I_{n+1} permettant de reconstituer la caractéristique $I = f(V)$ comme le ferait un logiciel de modélisation.

Exploitation du modèle

Les paramètres du modèle de la cellule photovoltaïque ont été implantés dans un logiciel de simulation. Le document réponse DREP2, figure 13 représente la caractéristique $I = f(U)$ de la cellule pour une température T_1 de 25° C et une irradiation de 1000 W/m^2 .

Question 20. Tracer sur la figure 13 la caractéristique qu'on obtiendrait pour une température $T_2=50^\circ$. Justifier ce tracé.

Le document réponse DREP2, figure 14 représente la caractéristique $I = f(U)$ de la cellule pour une température T_1 de 25°C , une irradiation de 1000 W/m^2 et une résistance série R_s de $0,01 \Omega$.

Question 21. Tracer sur la figure 14 la caractéristique qu'on obtiendrait pour une valeur de $R_s' = 0,02 \Omega$. Justifier ce tracé.

Question 22. Conclure sur la manière d'optimiser l'utilisation des cellules photovoltaïques à l'aide des résultats graphiques obtenus lors des deux questions précédentes.

F. Gestion de l'énergie

Dès la conception du système il a été établi différents modes de fonctionnement permettant de répondre à plusieurs situations. Ces modes sont déclenchables soit sur demande d'un technicien depuis l'interface de contrôle de gestion, soit sur demande du gestionnaire de réseau (dans ce cas une interface de contrôle avec ce dernier est prévue). Parmi les modes, on trouve :

- Effacement : le bâtiment efface du réseau sa consommation. La fourniture d'énergie est réalisée par les énergies renouvelables et le stockage d'énergie réalisé.
- Autoconsommation : le bâtiment utilise au maximum sa production. La fourniture d'énergie est réalisée par les énergies renouvelables, le stockage d'énergie réalisé et en appoint le réseau.
- Fourniture au réseau : le surplus d'énergie produit par le photovoltaïque et l'éolienne est utilisé pour la fourniture au réseau complété par la batterie.

L'objectif de cette partie est la validation d'une architecture réseau et de commande permettant de gérer l'énergie du bâtiment.

F.1. Description de l'architecture

La gestion énergétique du bâtiment est assurée par un ensemble d'automates dont le diagramme de bloc interne est donné ci-dessous :

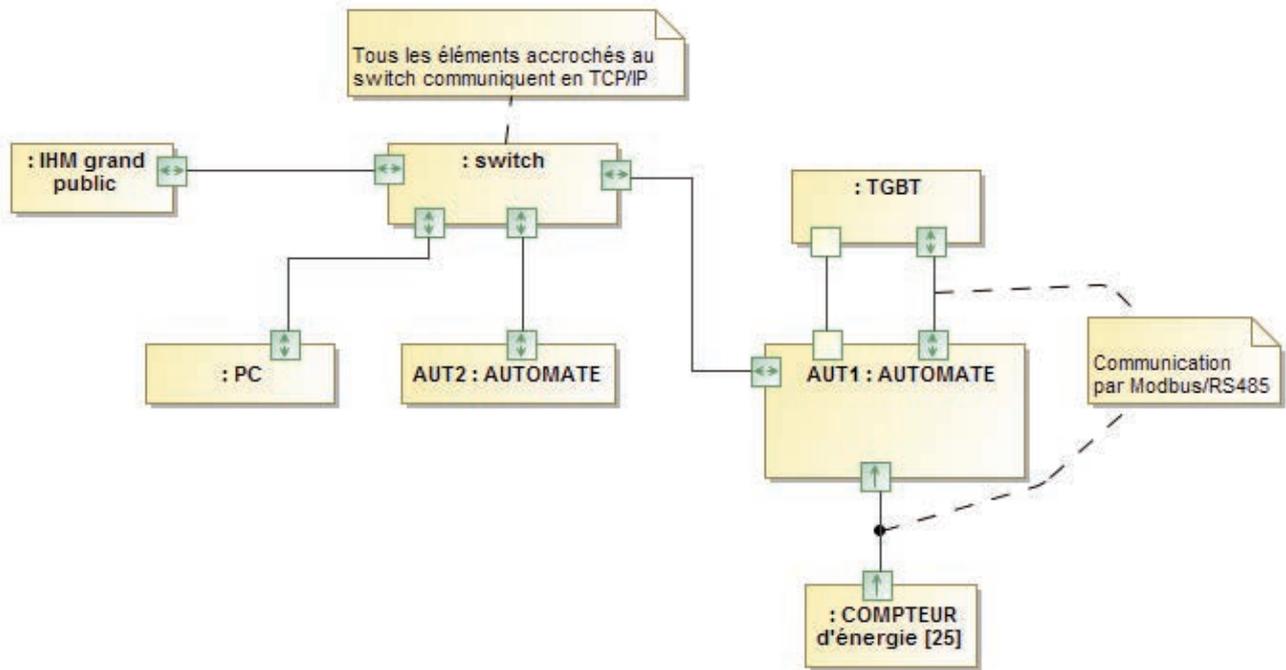


Figure 7. Diagramme de bloc interne de la partie commande (PMS)

L'automate AUT1 est un automate de type M340 permettant de collecter toutes les informations venant des compteurs d'énergie et d'autres éléments. Il permet aussi de commander des éléments du TGBT (Tableau Général Basse Tension). Il est l'unique interface entre la partie commande et les différents appareils.

L'automate AUT2 contient l'intelligence permettant de contrôler les différents modes de fonctionnement. Il tire ses informations de l'automate AUT1 en allant y lire des données par protocole Modbus/TCP. En retour, il génère et fournit les différentes consignes pour AUT1 selon les différents modes de fonctionnement à adopter (indiqués en début de sujet).

Le PC permet de gérer l'écran d'accueil affichant les données et gère l'archivage des données dans une base de données. Comme AUT2 il va lire les informations contenues dans l'AUT1.

On précise que le niveau Ethernet fonctionne en 100 BASE-TX.

F.2. Réseau

L'automate AUT2 et le PC lisent continuellement les informations stockées dans AUT1. Le responsable réseau du SDEM a décidé de placer un routeur entre le réseau de l'établissement (d'adresse réseau 172.16.0.0/16) et le réseau créé entre les automates.

Question 23. Rappeler le rôle d'un routeur et justifier le choix technique du responsable.

Pour être compatible avec le réseau actuel, le responsable du réseau impose une adresse de base en 192.168.1.128/26, soit un masque de réseau de 26 bits.

Question 24. Après avoir rappelé ce qu'est une adresse IP privée, compléter le tableau du DREP 3 permettant de faire une synthèse des adresses IP utilisables.

Question 25. Donner la table de routage du routeur en complétant le DREP 3 sachant que le routeur possède les adresses 192.168.1.150 et 172.16.0.254.

F.3. Validation de la stratégie de commande

Comme indiqué dans la partie précédente, la gestion est partagée principalement entre trois machines et fonctionne comme indiqué ci-dessous :

- L'automate AUT1 met à jour en permanence ses informations et scrute continuellement les différents appareils auxquels il est connecté (par Modbus/RS485). Il maintient une table d'informations accessible en lecture par protocole Modbus/TCP par le PC et AUT2. Il pilote également les différents modes de fonctionnement. Les consignes lui sont fournies par AUT2 et le PC via l'écriture de variables internes par protocole Modbus/TCP également.
- Le PC lit en permanence les informations de la table de AUT1 par protocole Modbus/TCP. Chaque changement de valeur est relevé et enregistré dans une base de données.
- L'automate AUT2 récupère les informations de AUT1 par Modbus/TCP, calcule les consignes nécessaires et les envoie à AUT1 pour que celui-ci puisse basculer dans le bon mode et le piloter.

On cherche à vérifier que cette stratégie de commande permet une communication sans perte d'information, c'est à dire que le PC a le temps de lire toutes les informations de la table de AUT1 avant que celui-ci ne les ait mises à jour.

Les fonctionnements des protocoles Modbus/RS485 et Modbus/TCP sont rappelés en annexe 5 et 6.

Question 26. Expliquer pourquoi le protocole Modbus/TCP ne comporte pas de champ "n° esclave" alors que le Modbus/RS485 en a un.

Dans un premier temps, nous cherchons à estimer le temps que met AUT1 pour lire toutes les informations par Modbus/RS485 des différents appareils.

Question 27. Justifier que l'hypothèse la plus pessimiste est celle où le maître cherche à lire un seul mot d'un esclave.

Question 28. Calculer le temps qu'il faut à l'automate AUT1 pour récupérer une information d'un mot sur 23 compteurs d'énergie. La vitesse maximale de transmission du compteur est de 38400 bauds.

Question 29. Donner le temps de lecture permettant de récupérer l'ensemble des informations de AUT1 depuis le PC. Pour simplifier l'étude, on supposera que les données sont contiguës et qu'elles ont une taille de 10 ko.

Question 30. Conclure sur la stratégie de gestion mise en place.

F.4. Mise au point des modes de fonctionnement

Comme expliqué précédemment, le choix des modes de fonctionnement est dévolu à l'automate AUT2. Les ordres sont envoyés à l'automate AUT1 qui pilote ensuite le mode de fonctionnement choisi.

L'objectif de cette partie est de mettre au point un programme pour automate permettant de piloter un mode de fonctionnement. Ceci sera fait en deux temps :

- Mise au point d'un modèle de comportement par machine d'état.
- Implémentation du modèle dans un langage de programmation.

Modélisation d'un mode de fonctionnement par machine d'état

On s'intéresse plus particulièrement au mode de fonctionnement **autoconsommation**.

La description de ce mode est donnée ci-dessous :

Dans ce mode de fonctionnement, le bâtiment utilise au maximum sa production. La fourniture d'énergie est réalisée par les énergies renouvelables et le stockage d'énergie.

En cas de surproduction, celle-ci est utilisée pour charger la batterie de stockage.

Si la batterie a atteint son niveau de stockage maxi il y a alors revente du surplus avec limitation de réinjection (consigne maxi de réinjection).

La régulation PV (régulation de la production des panneaux Photovoltaïques -> on cherche à moins produire) est activée si la production locale est supérieure à la consommation du bâtiment et à la consigne de réinjection.

*Le mode de fonctionnement **autoconsommation** peut être activé dans les cas suivants :*

- affectation à une période tarifaire ;
- demande opérateur depuis le superviseur PMS.

On cherche à modéliser le comportement de l'automate AUT1 selon ce cahier des charges grâce à une machine d'état.

Les événements auxquels réagit le système sont listés ci-dessous :

- *Nouvelle période tarifaire* : une demande tarifaire issue d'Enedis.
- *Demande opérateur* : le passage dans ce mode est fait par un opérateur.
- *Surproduction* : indique que la production dépasse la consommation.
- *Production insuffisante* : indique que la consommation est supérieure à la production.
- *Charge batterie à 90%* : indique que les batteries peuvent être de nouveau rechargées.
- *Charge batterie à 100%* : indique que les batteries sont rechargées.
- *ProdPlus* : indique que la production dépasse la capacité de consommation et de revente. Ce sera un événement interne car on reste toujours dans le mode revente (déjà positionné sur le document réponse). Cela a pour effet de déclencher la régulation de production des panneaux photovoltaïques.
- *JusteProd* : événement interne généré si, lors de la revente, la production ne permet par la revente. Dans ce cas cela enlève la régulation photovoltaïque.

Les différents états donnés sont :

- *Consommation au maximum autonome* : dans ce mode, toute l'énergie renouvelable est consommée ainsi que celle de la batterie. Le reste vient du réseau Enedis.
- *Chargement batterie* : dans ce mode, toute la consommation vient des ENR et le surplus vient recharger les batteries.

- *Revente* : dans ce mode, toute la consommation vient de l'ENR mais les batteries sont chargées à 100%. Le surplus est revendu. Dans le cas où la production dépasse la capacité de consommation et de revente, l'événement interne tropProd permet de déclencher la régulation PV (permet de limiter la production des PV).

Question 31. Sur la base de ces informations, compléter le document réponse DREP 4 décrivant une machine d'état répondant au cahier des charges en plaçant les transitions et les événements associés.

Programmation d'un mode de fonctionnement

L'objectif de cette partie est de mettre au point un programme répondant au modèle issu du cahier des charges ci-dessous.

Parmi les modes de fonctionnement possibles, le système doit permettre de renvoyer de l'énergie au réseau selon une consigne donnée par celui-ci. Le cahier des charges ci-dessous en donne le fonctionnement :

Dans ce mode de fonctionnement, le surplus d'énergie produit par le photovoltaïque et l'éolienne est utilisé pour fournir de l'énergie au réseau public, complété par la batterie si la production est insuffisante.

Si les productions photovoltaïque et éolienne sont insuffisantes, les charges sont délestées. L'automate AUT2 transmet à l'automate AUT1 une consigne de consommation :

- *Consigne = 0 => Délestage global de tous les départs*
- *Consigne = 1 => Relestage des départs.*

Si la puissance fournie reste inférieure à la consigne après délestage de tous les départs, la batterie est utilisée en décharge pour atteindre le seuil de consigne souhaité.

Si la batterie a atteint son niveau de stockage mini => arrêt du mode de fonctionnement puis passage en mode revente surplus énergie.

Si la puissance fournie reste supérieure à la consigne après relestage de tous les départs, la batterie est utilisée en charge pour atteindre le seuil de consigne souhaité (inclus dans la phase de fourniture au réseau et non détaillé ici).

Si la batterie a atteint son niveau de stockage maxi => mise en marche de la régulation PV (inclus dans la phase de fourniture au réseau et non détaillé ici).

Le modèle de machine d'état simplifiée correspondant à ce fonctionnement est donné ci-dessous :

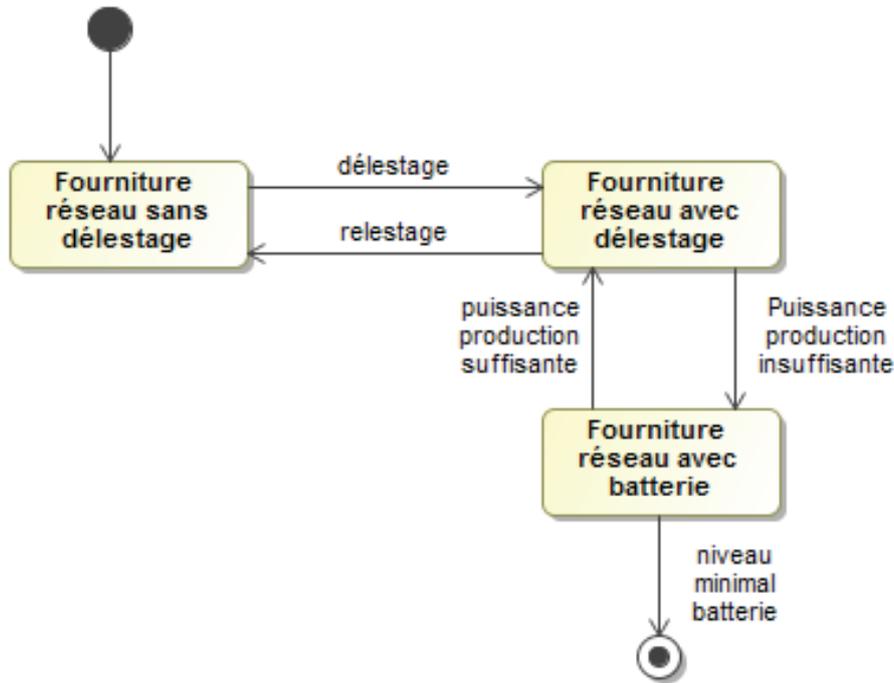


Figure 8. Modèle de machine d'état du mode revente

Le M340 est un automate pouvant être programmé à l'aide de plusieurs langages. Pour programmer une machine d'état il est possible d'utiliser le langage Structured Text (ST), ressemblant beaucoup au pseudo-langage utilisé pour décrire un algorithme de manière universelle.

Il existe plusieurs manières de programmer un machine d'état et une idée simple est d'utiliser une structure conditionnelle de type **switch... case** en utilisant une variable d'état pour faire évoluer le programme. Un exemple est fourni à l'annexe 7.

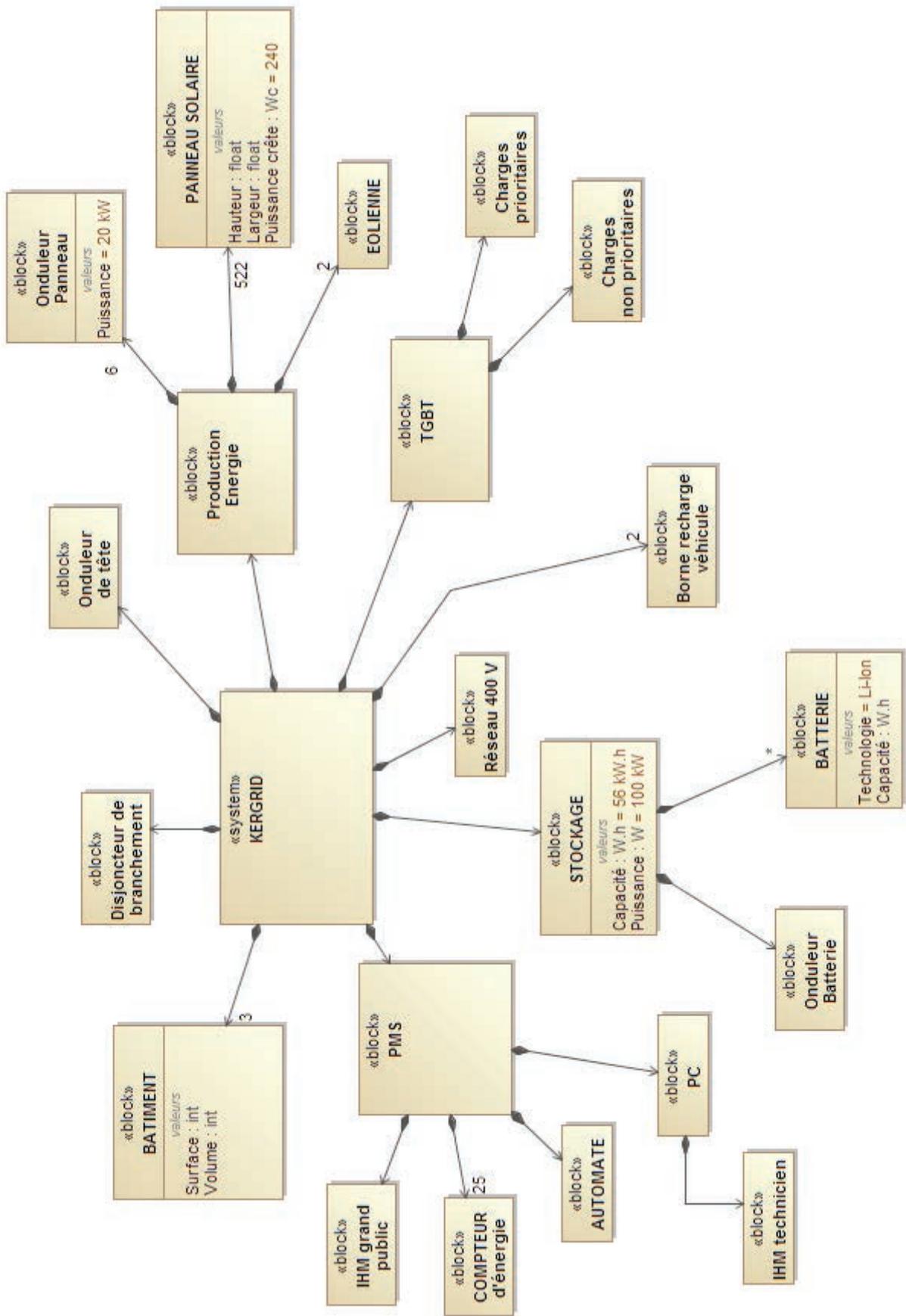
Question 32. Compléter le code du document DREP5 afin d'implémenter la machine d'état décrite ci-dessus sachant qu'il ne reste à compléter que la gestion des événements.

Question 33. Conclure sur la méthode de mise au point du programme de gestion d'énergie.

G. Conclusion générale

Question 34. En reprenant les éléments traités, conclure sur la problématique énoncée en début de sujet en mettant en évidence les avantages et les inconvénients d'une telle solution.

Annexe 1 - Diagramme de blocs du système Kergrid



Annexe 2 - Règlementation thermique et les labels

1) Label et bâtiment PassivHaus:

Le label PassivHaus est un label allemand de performance énergétique des bâtiments. Le PassivHaus est un concept global de construction de bâtiment à très faible consommation d'énergie. Le but de ce concept est de créer des logements qui permettent de se passer de chauffage conventionnel. En français, cela signifie maison passive, c'est à dire une maison ne se chauffant pas par un moyen nécessitant des éléments consommant de l'énergie.

Les bâtiments labélisés PassivHaus permettent de réaliser des économies d'énergie allant jusqu'à 90% par rapport à un bâtiment classique. Des économies d'énergie considérables ont été mises en évidence dans les climats chauds, où les bâtiments classiques exigent un refroidissement actif. Les maisons PassivHaus font un usage efficace du soleil, des sources de chaleurs internes et de la récupération de chaleur, ce qui rend les systèmes de chauffage conventionnels inutiles.

Les critères du Label PassivHaus:

L'obtention du label PassivHaus repose sur un cahier des charges précis.

La consommation de chauffage doit être inférieure à **15kW.h** par mètre carré et par an. Il est considéré que 15kW.h/m²/an suffisent à chauffer un bâtiment dans de bonnes conditions grâce au soleil et à la récupération de la chaleur interne.

L'étanchéité de l'enveloppe de l'habitat doit être de **n50 ≤ 0.6 h⁻¹**. Cela signifie que l'habitat doit être assez étanche afin de conserver la chaleur dans l'enceinte de la maison.

Les besoins en énergie primaire doivent être inférieurs à **120kW.h** par mètre carré par an.

2) La réglementation thermique RT2012 :

La réglementation thermique 2012, tout comme la RT 2005, exprime des exigences en énergie primaire, à ne pas confondre avec l'énergie finale.

L'énergie finale (kW.h_{EF}) est la quantité d'énergie disponible pour l'utilisateur final. L'énergie primaire (kW.h_{EP}) est la consommation nécessaire à la production de cette énergie finale.

Par convention, du fait des pertes liées à la production, la transformation, le transport et le stockage :



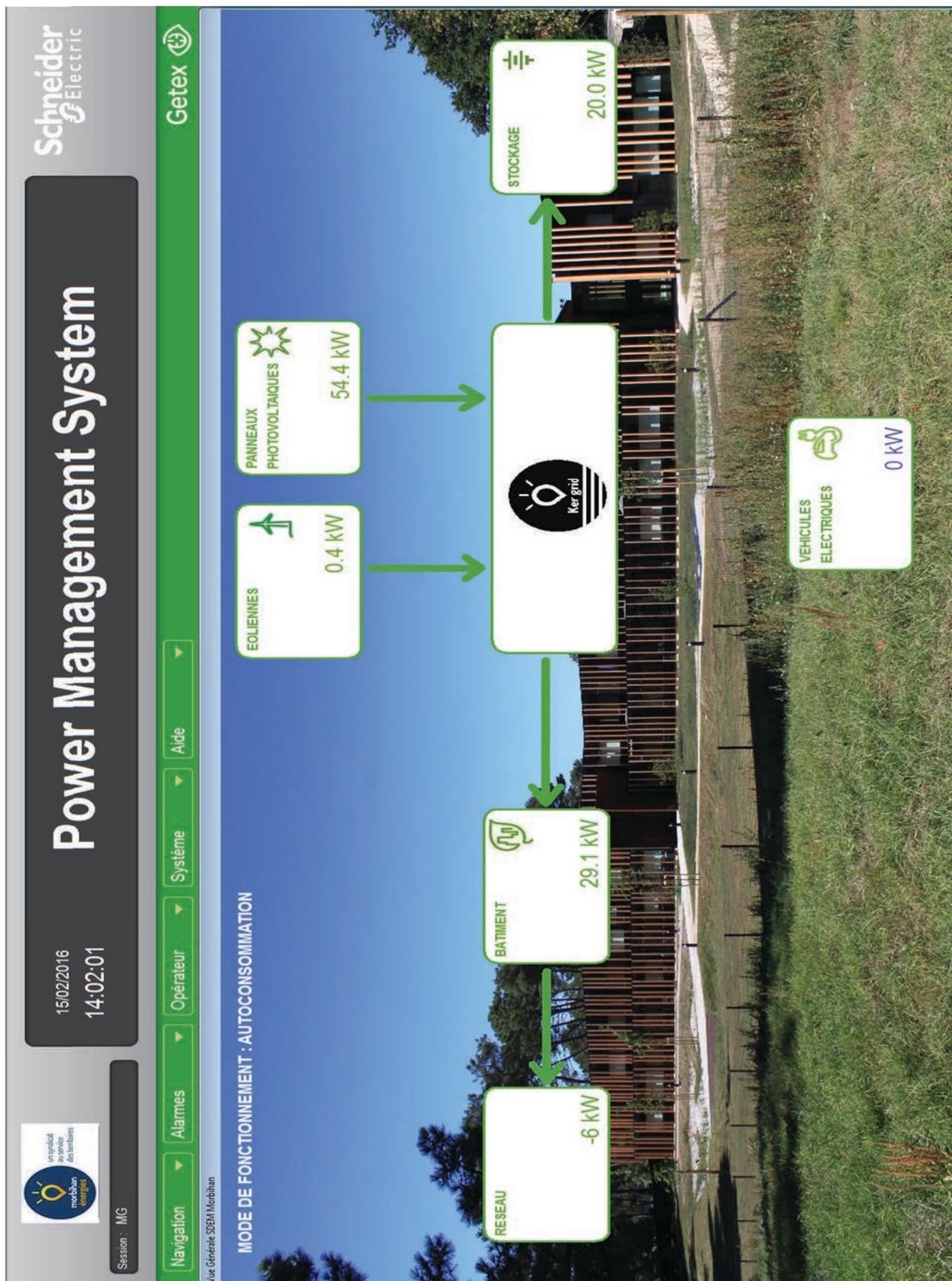
La RT 2012 pose 3 exigences de performances énergétiques :

- La consommation conventionnelle en énergie primaire (CEP) du bâtiment doit être inférieure à une valeur **CEPmax** dont la valeur est d'environ **50kW.h/(m².an)** modulée en fonction de la zone climatique. Elle s'appuie sur un calcul conventionnel des consommations énergétiques liées aux postes : chauffage, production d'eau chaude sanitaire, éclairage, refroidissement éventuel, consommateurs auxiliaires, déduction faite des éventuelles productions locales d'énergie, et en prenant en compte les apports « gratuits »....
- Le besoin bioclimatique conventionnel (BBIO) est une exigence de limitation simultanée des besoins en énergie pour les composantes liées au bâti (chauffage, éclairage, refroidissement). Il doit être inférieur à une valeur **BBIOmax** dépendant de la catégorie du bâtiment, de son utilisation, de sa zone géographique et de sa surface. C'est un indicateur qui rend compte de la qualité de la conception imposant son optimisation, indépendamment des systèmes énergétiques mis en œuvre. Il valorise la conception bioclimatique (accès à l'éclairage naturel, aux apports solaires), l'isolation performante et la mitoyenneté.
- La température intérieure conventionnelle (TIC) est une exigence de confort en été. Elle assure que pendant les 5 jours les plus chauds, la température intérieure reste inférieure à une valeur maximale **TICref** (définie sur un bâtiment de référence).

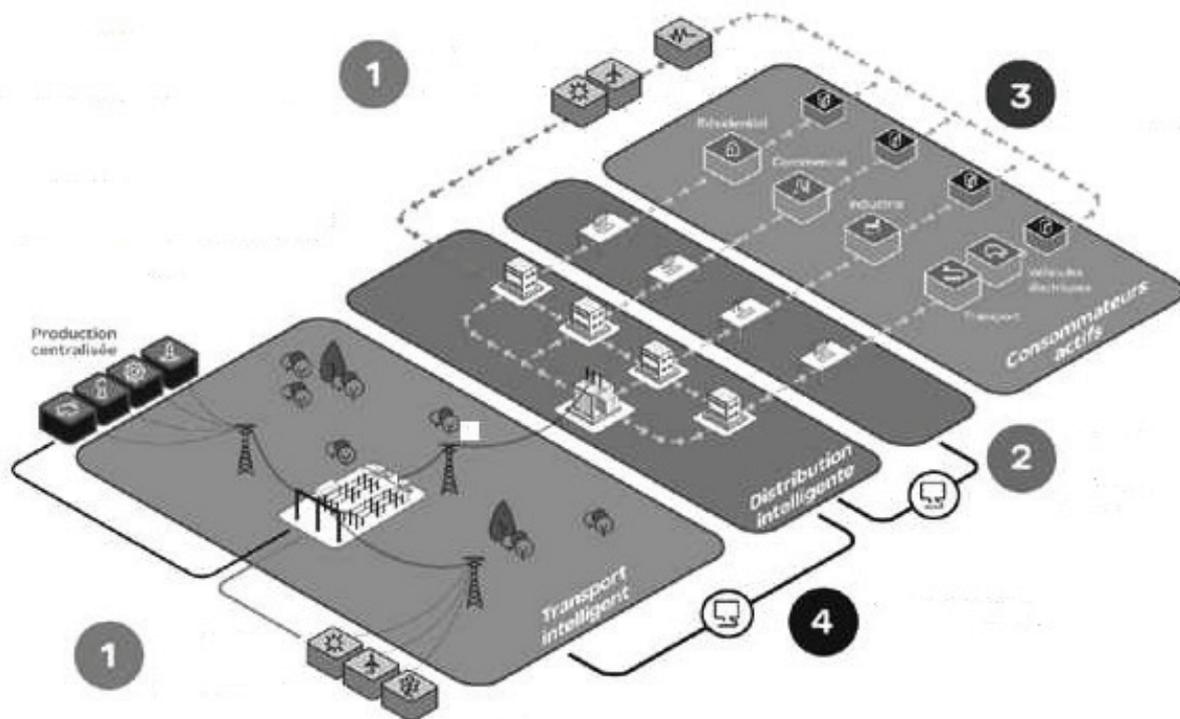
La RT 2012 impose aussi des **exigences de moyens** :

- traitement des ponts thermiques significatifs ;
- généralisation, pour le logement, du principe du test de l'étanchéité à l'air du bâtiment ;
- obligation de mise en place de protections solaires pour les locaux de sommeil ;
- recours aux énergies renouvelables (EnR) ou à des systèmes très performants (eau chaude sanitaire thermodynamique ou micro-cogénération) en maisons individuelles ou accolées ;
- surface minimale pour les baies vitrées (1/6 de la surface habitable).

Annexe 3 - Monitoring du Sdem



Annexe 4 - Présentation d'une organisation de type SmartGrid d'après Schneider Electric



① Energies renouvelables :

- Solaire, éolienne, biomasse, etc.
- Energie décentralisée (produite par les consommateurs)
- A moyen terme, impact positif sur les émissions de CO₂

② Efficacité énergétique active :

- Rendre l'énergie visible
- Donner les moyens d'optimiser la consommation énergétique
- Généraliser les nouvelles technologies disponibles
- Réaliser jusqu'à 30% d'économies d'énergie, rentabilité rapide

③ Véhicules électriques :

- Impact positif : Réduction des émissions de CO₂
- Principaux obstacles : coût, batterie, développement d'une infrastructure sûre, accessible et intelligente.

④ Gestion du réseau en temps réel :

- Gestion de charge
- Anticiper la consommation d'énergie en temps réel pour adapter la production
- Limiter l'utilisation /la construction de centrales à combustible fossile.

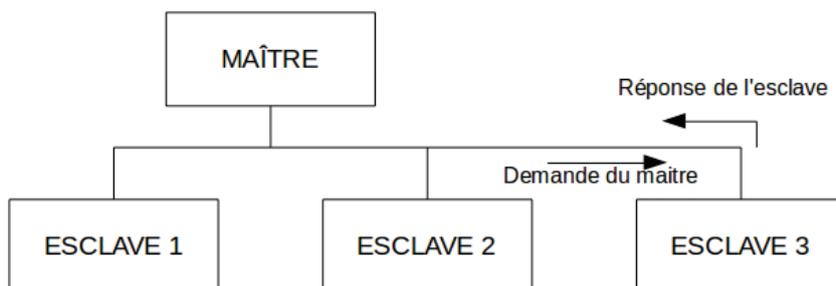
La smart grid est en passe de révolutionner notre utilisation de l'énergie. En transformant le réseau linéaire classique en un réseau intelligent et interactif, ils modifient nos comportements, influencés par quatre éléments nouveaux :

- Les énergies renouvelables : en permettant à chaque consommateur de produire sa propre énergie, elles font naître le besoin de connecter des sources disparates au réseau central.
- L'efficacité énergétique active et la gestion de l'énergie : elles rendent l'énergie visible, et offrent à chacun la possibilité d'agir sur sa consommation.
- Les véhicules électriques : ils révolutionnent la perception de la mobilité, par les transports en commun ou les voitures particulières.
- La gestion du réseau en temps réel : elle permet d'anticiper la consommation et d'adapter l'offre en conséquence.

Seules les entreprises qui auront mesuré l'ampleur des conséquences comportementales et technologiques de cette nouvelle donne sauront tirer le meilleur des opportunités d'innovation offertes par les réseaux intelligents. Schneider Electric dispose de la vision, des offres et de la volonté nécessaires pour être un acteur majeur de la révolution énergétique.

Annexe 5 - Protocole Modbus/RS485

Le protocole Modbus est un protocole de dialogue basé sur une structure hiérarchisée entre un maître et plusieurs esclaves (stations) comme indiqué sur le schéma ci-dessous :



Chaque esclave possède une adresse unique attribuée à la configuration. Deux stations esclaves ne peuvent dialoguer ensemble.

Echange maître vers 1 esclave : le maître envoie une demande et attend une réponse.

Echange Maître vers toutes les stations esclaves : le maître diffuse un message à tous les esclaves présents sur le réseau, ceux-ci exécutent l'ordre du message sans émettre une réponse.

La communication est toujours à l'initiative du maître. La trame émise a la forme ci-dessous :

N° station esclave	Code fonction	Information spécifique concernant la demande	CRC
1 octet	1 octet	n octets	2 octets

Les codes fonctions indiquent à l'esclave l'action souhaitée. Les données contiennent des informations complémentaires dont l'esclave a besoin pour exécuter cette fonction. Le mot de contrôle (CRC) permet à l'esclave de s'assurer de l'intégrité du contenu de la question.

Exemple de fonction : lecture de 5 mots.

Les données ci-dessous sont écrites en hexadécimal.

Demande du maître

Adresse esclave : 0x7B

Code fonction : 0x03

Adresse de début : 0x1234 (valeur exemple)

Nombre de mots à lire : 0x0005

CRC : (non calculé ici)

Réponse de l'esclave :

Adresse de l'esclave : 0x7B

Code fonction : 0x03

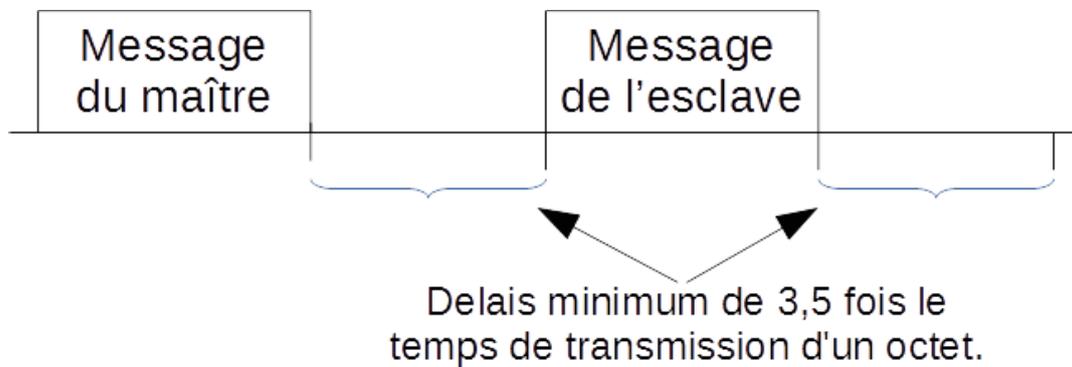
Nombre d'octets transmis : 0x0A

Données : 0x11 0x22 0x33 ... 0xAA

CRC : (non calculé ici)

Transmission

Chaque trame est émise octet par octet selon le même protocole que le RS 232. Chaque octet contient 1 bit de START- 8 bits de données- 2 bits de stop. Après l'émission d'une trame il doit y avoir un silence d'au moins 3,5 fois le temps d'envoi d'un octet.



Annexe 6 - Protocole Modbus/TCP

TCP/IP

TCP is Transmission Control Protocol and IP is Internet Protocol. These protocols are used together and are the transport protocol for the internet. When modbus information is sent using these protocols, the data is passed to TCP where additional information is attached and given to IP. IP then places the data in a packet (or datagram) and transmits it.

Modbus RTU over TCP

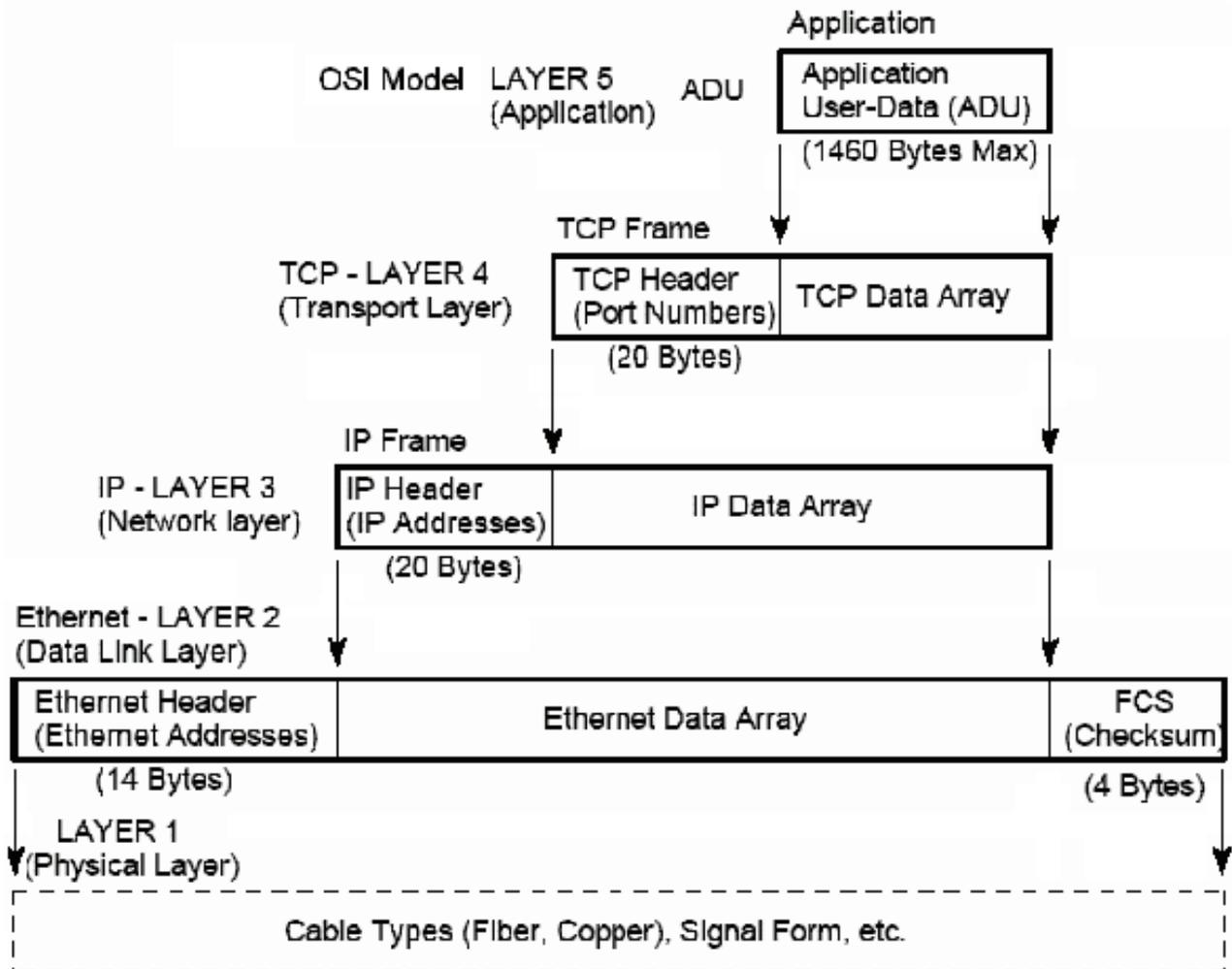
Simply put, this is a Modbus RTU message transmitted with a TCP/IP wrapper and sent over a network instead of serial lines. The Server does not have a SlaveID since it uses an IP Address instead.

Modbus TCP

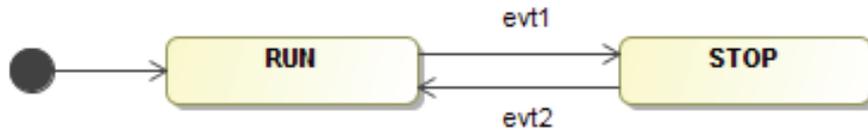
A Modbus Messaging Implementation Guide provided by Schneider Automation outlines a modified protocol specifically for use over TCP/IP. The official Modbus specification can be found at www.modbus.org/specs.php. The main differences between Modbus RTU and Modbus TCP are outlined here.

TCP/IP Wrapper (voir page suivante)

CONSTRUCTION OF A TCP/IP-ETHERNET DATA PACKET



Annexe 7 - Exemple d'implémentation d'une machine d'état



DEBUT

```
//Déclaration des constantes  
RUN : 1  
STOP : 2  
//Déclaration des variables  
Etat : entier  
//Initialisation  
Etat <- RUN  
TANT QUE VRAI  
  SELON Etat
```

Cas RUN :

```
//tâche 1  
//tâche 2  
//etc  
Mise à jour des informations d'entrée  
SI evt1  
  ALORS Etat <- STOP  
FSI
```

Cas STOP :

```
//tâche3  
//tâche4  
//etc  
Mise à jour des informations d'entrée  
SI evt2  
  ALORS Etat <- RUN  
FSI
```

```
  FIN SELON  
FTQ
```

Remarque : la mise à jour des informations consiste à aller lire les entrées ou des variables internes afin de rafraichir l'état du système. On ne cherchera pas à connaître comment lire les différents éléments, on supposera les avoir à disposition après lecture.

DT 1 - Panneaux solaires

LDK 260-235

60-cell Multicrystalline PV Module Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (STC*)

Module Type	LDK	260 PA	255 PA	250 PA	245 PA	240 PA	235 PA
Nominal Power (Pmax)	[W]	260	255	250	245	240	235
Minimum Power Output	[W]	260	255	250	245	240	235
Voltage at Pmax (Vmp)	[V]	30.8	30.5	30.3	30.0	29.8	29.5
Current at Pmax (Imp)	[A]	8.47	8.37	8.27	8.18	8.08	7.98
Open Circuit Voltage (Voc)	[V]	38.1	37.9	37.7	37.5	37.3	37.1
Short Circuit Current (Isc)	[A]	8.82	8.76	8.69	8.63	8.56	8.50
Tolerance on Nominal Power	[W]	-0/+5	-0/+5	-0/+5	-0/+5	-0/+5	-0/+5
Maximum System Voltage	[V]	IEC EN / UL: 1000 V					
Cell Efficiency	[%]	17.81	17.46	17.12	16.78	16.44	16.09
Module Efficiency	[%]	16.12	15.81	15.50	15.19	14.88	14.57

STC* (Standard Test Conditions): Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25 °C, Air Mass AM 1.5
Best in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) is used, with power measurement uncertainty within ±3%

ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT NOCT **

Module Type	LDK	260 PA	255 PA	250 PA	245 PA	240 PA	235 PA
Output Power (Pmax)	[W]	189	186	182	178	175	171
Voltage at Pmax (Vmp)	[V]	28.0	27.8	27.5	27.3	27.1	26.8
Current at Pmax (Imp)	[A]	6.77	6.70	6.62	6.57	6.46	6.38
Open Circuit Voltage (Voc)	[A]	35.2	35.0	34.8	34.7	34.5	34.4
Short Circuit Current (Isc)	[V]	7.15	7.09	7.04	6.99	6.93	6.88

NOCT** (Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800 W/m², Ambient Temperature 20 °C, Wind speed 1 m/s
Best in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) is used, with power measurement uncertainty within ±3%

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NOCT	45 ± 2 °C
Pmax Temperature Coefficient (γ)	-0.42 %/°C
Voc Temperature Coefficient (β)	-0.32 %/°C
Isc Temperature Coefficient (α)	0.06 %/°C
Series Fuse Maximum Rating	20 A
Operating Temperature	From - 40 to +85 °C
Storage Temperature	From - 40 to +60 °C

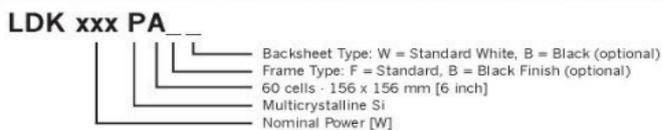
MECHANICAL CHARACTERISTICS

Solar Cells	60 (6x10) multicrystalline silicon - 156 x 156 mm [6 inch] solar cells
Front Glass	3.2 mm [0.13 in] high-transparency AR-coated tempered glass
Back Cover	White or Black (optional) Backsheet
Encapsulant	EVA (Ethylene-Vinyl Acetate)
Frame	Double-layer anodized aluminium alloy, silver or black finish (optional)
Junction Box	IP65 rated, with serviceable bypass diodes
Cables	UV resistant solar cable, 1000 mm [39.37 in] - section 4.0 mm² [12 AWG]
Connectors	MC4 compatible connectors
Dimensions	1636 x 986 x 35 mm [64.41 x 38.82 x 1.38 in]
Weight	18.5 kg [40.8 lbs]
Max. Load	Wind Load: 2400 Pa / Snow Load: 5400 Pa

PACKING CONFIGURATION

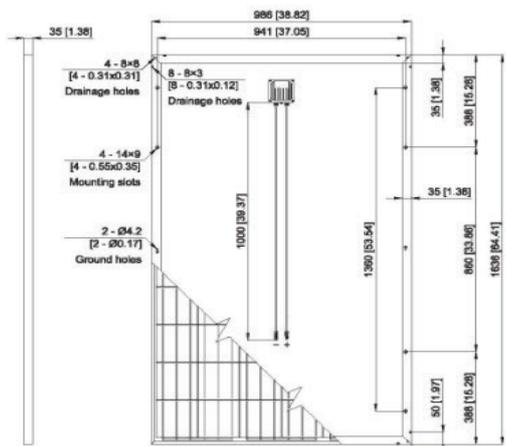
Packing Configuration	30 pcs. / box
Quantity / Pallet	60 pcs. / pallet
Loading Capacity	840 pcs./40 ft High Cube Container

MODULE TYPE CODING RULE



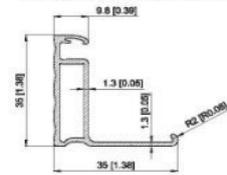
www.ldksolar.com

DIMENSIONS

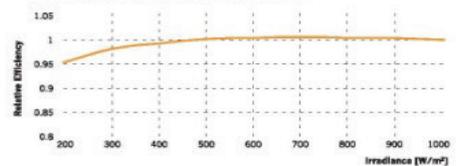


Module dimensions are expressed in mm [in] with tolerance ±2 mm [±0.079 in]

NEW FRAME CROSS SECTION

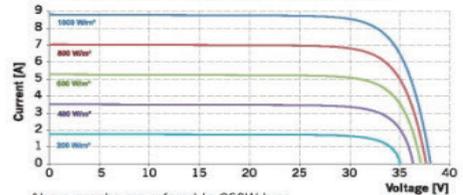


PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE



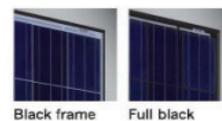
The typical relative change in module efficiency at an irradiance of 200 W/m² in relation to 1000 W/m² (both at 25 °C and spectrum AM 1.5) is less than 5%

I-V CURVE AT DIFFERENT IRRADIANCE LEVELS



Above graphs are referred to 260W type

PRODUCT OPTIONS



V3 - October 2013 - © LDK Solar Co. Ltd. All rights reserved. E.&OE



DT 2 - Extrait de la norme NF EN 15316-4

Systèmes de chauffage dans les bâtiments — Méthode de calcul des besoins énergétiques et des rendements des systèmes — Partie 4-6 : Systèmes de génération de chaleur, systèmes photovoltaïques

a) Méthode de calcul : énergie fournie par le système photovoltaïque

L'électricité produite par le système photovoltaïque $E_{el,pv,out}$ est calculée par :

$$E_{el,pv,out} = \frac{E_{sol} \cdot P_k \cdot f_{perf}}{I_{ref}} \text{ [kW.h/an]}$$

où :

- E_{sol} est l'irradiation solaire annuelle sur le système photovoltaïque [(kWh/m²)/an] ;
- P_{pk} est la puissance de crête [kW]. Elle représente la puissance électrique d'un système photovoltaïque ayant une surface donnée et recevant une irradiance solaire de 1 kW/m² sur sa surface (à 25 °C) ;
- f_{perf} est le facteur de performance du système [-] ;
- I_{ref} est l'irradiance solaire de référence égale à 1 kW/m².

Note 1 : Cette valeur de $E_{el,pv,out}$ constitue une donnée d'entrée pour les calculs conformément au prEN 15603. L'Annexe C donne des exemples de calculs. Prendre également en compte l'influence de l'ombre portée par certaines parties du bâtiment (par exemple, cheminées, unités de ventilation) sur la quantité annuelle d'électricité produite.

Pour l'énergie renouvelable produite sur le site du bâtiment, aucune énergie entrante n'est prise en compte.

$$E_{pv,gen,in} = 0$$

Note 2 : Cette valeur constitue une donnée d'entrée pour les calculs conformément au prEN 15603.

Note 3 : Le prEN 15603 spécifie que, pour les systèmes solaires actifs, le rayonnement solaire incident sur les panneaux solaires n'entre pas dans le bilan énergétique. Seule l'énergie fournie par l'équipement de génération est prise en compte dans le bilan énergétique.

b) Irradiation solaire sur les modules photovoltaïques

L'irradiation solaire E_{sol} sur les modules photovoltaïques est calculée par :

$$E_{sol} = E_{sol,hor} \cdot f_{tlt} \text{ [(kW.h/m}^2\text{)/an]}$$

où :

- $E_{sol,hor}$ est l'irradiation solaire annuelle sur un plan horizontal dans une zone géographique [(kW.h/m²)/an]. Les valeurs doivent être données dans une annexe nationale. Pour les valeurs informatives, voir le Tableau B.1;

- f_{tit} est le facteur de conversion de l'inclinaison et de l'orientation [-] pour le calcul de l'irradiation solaire sur la surface du module photovoltaïque. Les valeurs doivent être données dans une annexe nationale. Pour les valeurs informatives, voir le Tableau B.2.

c) Puissance de crête

La puissance de crête P_{pk} s'obtient dans des conditions normales d'essai (valeurs d'essai de référence de la température de la cellule $\theta = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, en irradiance plane $I_{\text{ref}} = 1 \text{ kW/m}^2$, spectre de référence solaire de masse d'air AM = 1,5 pour un module PV ou un essai de cellule PV — EN 61829).

Si P_{pk} n'est pas disponible, cette valeur peut être calculée par :

$$P_{pk} = K_{pk} \cdot A \text{ [kW]}$$

où :

- K_{pk} est le coefficient de puissance de crête [kW/m²] en fonction du type d'intégration du module photovoltaïque dans le bâtiment. Les valeurs doivent être données dans une annexe nationale. Pour les valeurs informatives, voir le Tableau B.3;
- A est la surface totale [m²] de tous les modules photovoltaïques (encadrement non compris).

d) Facteur de performance du système

Le facteur de performance du système f_{perf} prend en compte la performance du système de l'installation photovoltaïque intégrée au bâtiment en fonction :

- du système de conversion du courant continu en courant alternatif ;
- de la température réelle de fonctionnement des modules photovoltaïques ;
- de l'intégration des modules photovoltaïques dans le bâtiment.

Le type de ventilation des modules photovoltaïques peut déterminer les différents types d'intégration dans le bâtiment.

Les valeurs pour le facteur de performance du système f_{perf} doivent être données dans une annexe nationale. Pour les valeurs informatives, voir le Tableau B.4.

e) Puissance thermique du panneau photovoltaïque

La puissance thermique n'est pas prise en compte.

$$Q_{pv,gen,out} = 0$$

Note 4 : Cette valeur constitue une donnée d'entrée pour les calculs conformément au prEN 15603.

f) Consommation d'énergie des auxiliaires

La consommation d'énergie des auxiliaires est prise en compte en n'appliquant que la production d'énergie électrique nette (la production totale d'énergie moins la consommation totale d'énergie des auxiliaires au sein même du sous-système).

$$W_{pv,gen,aux} = 0$$

Note 5 : Cette valeur constitue une donnée d'entrée pour les calculs conformément au prEN 15603.

g) Pertes thermiques du système

Les pertes thermiques du système ne sont pas prises en compte.

$$Q_{pv,gen,Is} = 0$$

Note 6 : Cette valeur constitue une donnée d'entrée pour les calculs conformément au prEN 15603.

Les pertes ne sont pas récupérables pour le chauffage des locaux.

$$\rightarrow Q_{pv,gen,Is,rbl} = 0$$

Tableau B.1 — Valeurs informatives de l'irradiation solaire annuelle sur un plan horizontal (voir également l'EN ISO 15927-4)

Zone	Régions	$E_{sol,hor}(kWh/m^2)/an$
PV1	PACA, Languedoc Roussillon	1 500
PV2	Rhône Alpes, Midi Pyrénées	1 350
PV3	Pays de la Loire, Poitou Charente, Aquitaine, Limousin, Auvergne	1 250
PV4	Bretagne, Basse Normandie, Centre, Bourgogne, Franche Comté	1 150
PV5	Nord Pas de Calais, Haute Normandie, Picardie, Ile de France, Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace	1 050

Tableau B.2 — Valeurs informatives du facteur de conversion d'inclinaison et d'orientation pour le calcul de l'énergie incidente sur la surface du module photovoltaïque (voir également l'EN ISO 15927 4)

ZONE PV1		Orientation				
		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
		Facteur de conversion f_{tit}				
Angle	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,93	1,09	1,15	1,09	0,93
	45°	0,87	1,06	1,13	1,06	0,87
	60°	0,79	0,99	1,06	0,99	0,79
	90°	0,59	,074	0,77	,074	0,59

ZONE PV2		Orientation				
		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
		Facteur de conversion f_{fit}				
Angle	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,93	1,06	1,10	1,06	0,93
	45°	0,87	1,02	1,08	1,02	0,87
	60°	0,79	0,95	1,00	0,95	0,79
	90°	0,60	0,70	0,71	0,70	0,60
ZONE PV3		Orientation				
		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
		Facteur de conversion f_{fit}				
Angle	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,93	1,06	1,13	1,06	0,93
	45°	0,87	1,02	1,11	1,02	0,87
	60°	0,79	0,95	1,04	0,95	0,79
	90°	0,60	0,73	0,76	0,73	0,60
ZONE PV4		Orientation				
		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
		Facteur de conversion f_{fit}				
Angle	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,93	1,06	1,11	1,06	0,93
	45°	0,87	1,02	1,08	1,02	0,87
	60°	0,79	0,95	1,01	0,95	0,79
	90°	0,60	0,70	0,74	0,70	0,60
ZONE PV5		Orientation				
		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
		Facteur de conversion f_{fit}				
Angle	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,93	1,06	1,11	1,06	0,93
	45°	0,87	1,03	1,08	1,03	0,87
	60°	0,79	0,96	1,01	0,96	0,79
	90°	0,59	0,72	0,74	0,72	0,59

Tableau B.3 — Valeurs informatives du coefficient de puissance de crête

Type de module photovoltaïque	K_{pk} W/m ²
Silicium monocristallin ^{a)}	0,12 à 0,18
Silicium polycristallin ^{a)}	0,10 à 0,16
Couche mince de silicium amorphe	0,04 à 0,08
Autres couches minces	0,035
Couche mince de diséléniure de cuivre-gallium-indium	0,105
Couche mince de tellure de cadmium	0,095
<i>a) Avec une densité de cellules photovoltaïques minimum de 80 %.</i>	

Tableau B.4 — Valeurs informatives du facteur de performance du système

Type d'intégration au bâtiment des modules photovoltaïques	F_{per}
Modules non ventilés	0,70
Modules ventilés ou faiblement ventilés	0,75
Modules très ventilés ou à ventilation forcée	0,80

DT 3 - Production prévisionnelle photovoltaïque

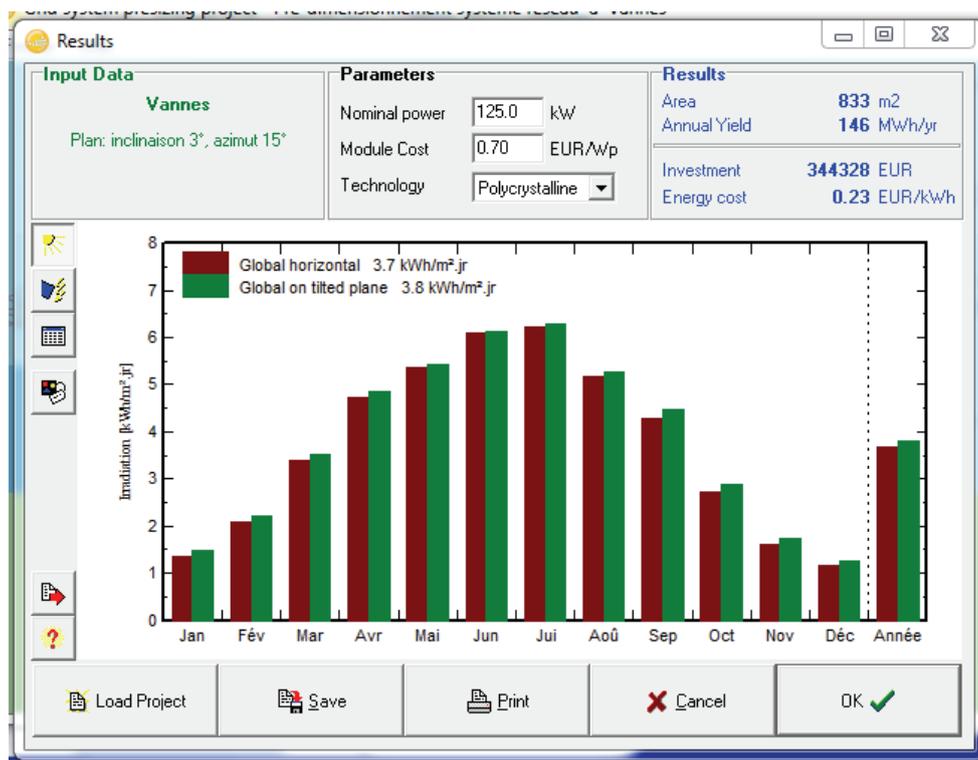


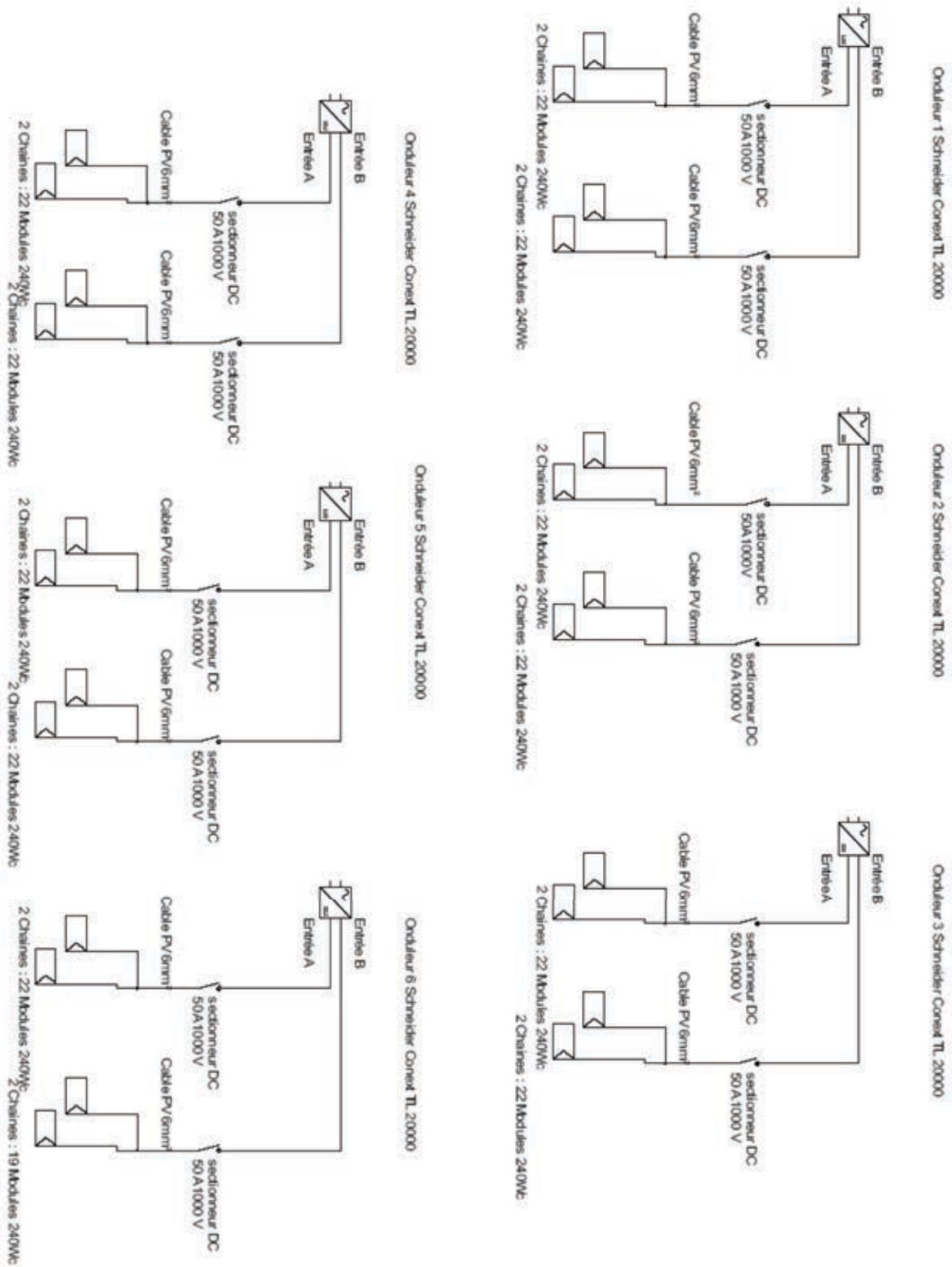
Figure 9. Graphique de prédétermination de la production photovoltaïque à Vannes

Figure 10 is a table showing monthly production values for Vannes. The table includes columns for 'Gl. horiz.', 'Coll. Plane', 'System output kWh/jour', and 'System output kWh'. The x-axis shows the months from Jan to Dec, and the y-axis shows production values. The 'System output kWh' column shows the highest values, increasing from 4806 in Jan to 145585 in Année.

	Gl. horiz. kWh/m².jr	Coll. Plane kWh/m².jr	System output kWh/jour	System output kWh
Jan.	1.34	1.48	155.0	4806
Fév.	2.09	2.22	233.0	6525
Mars	3.38	3.53	370.4	11483
Avr.	4.73	4.84	508.9	15266
Mai	5.35	5.42	569.2	17644
Juin	6.09	6.14	644.9	19346
Jui.	6.22	6.28	659.4	20442
Août	5.16	5.26	552.3	17122
Sep.	4.30	4.46	468.3	14049
Oct.	2.71	2.87	301.1	9335
Nov.	1.61	1.73	181.9	5457
Déc.	1.15	1.26	132.6	4111
Année	3.68	3.80	398.9	145585

Figure 10. Prédétermination des valeurs de production photovoltaïque mensuelles à Vannes

DT 4 - Schéma de raccordement des panneaux



DT 5 - Caractéristiques des onduleurs

Conversion pour sites raccordés au réseau

Conext TL

Onduleur photovoltaïque triphasé pour le tertiaire

La gamme d'onduleurs Conext TL de Schneider Electric, adaptée à une utilisation en extérieur, est la solution idéale pour les bâtiments commerciaux, les ombrières et les champs photovoltaïques.

Elle offre une large plage de tensions d'entrées et un excellent rendement pour un retour sur investissement rapide.

La communication Modbus intégrée permet d'accéder aux fonctions de gestion de l'énergie et de supervision.

Issue de l'expertise en gestion de l'énergie de Schneider Electric et accompagnée d'une offre complète de services, la gamme Conext TL est une solution sur laquelle vous pouvez compter.

Durable

- Schneider Electric, un partenaire de confiance avec plus de 175 années d'expérience
- Leader mondial dans l'automatisme industriel, l'alimentation sécurisée et la distribution électrique, Schneider Electric grâce à son implantation mondiale, vous accompagne dans tous vos projets internationaux.

Performant

- Rendement maximum élevé (> 98 %)
- 2 MPPT pour un retour sur investissement rapide

Fiable

- Résistant aux essais rigoureux MEOST (Multiple Environmental Over Stress Testing)

Flexible

- Large plage de tension (350 - 850 V)
- Facile à connecter à un système de supervision
- Adapté aux installations extérieures (électronique IP 65)

Facile à entretenir

- Sous ensembles (bloc ventilateur, carte de communication...) facilement remplaçables
- Sectionneur CC intégré
- Possibilité de désactivation à distance

Facile à installer

- Montage simple et rapide avec support inclus
- Connecteurs enfichables CC et CA
- Configuration multilingue automatique



Puissance : 15 et 20 kW

Puissance : 8 et 10 kW

Exemples d'application



Bâtiments commerciaux



Champs photovoltaïques



Ombrières

DT 6 - Caractéristiques des onduleurs

> Conext TL	TL 8000 E	TL 10000 E	TL 15000 E	TL 20000 E		
Références	onduleur (garanti 5 ans en standard)	PVSNVC8000	PVSNVC10000	PVSNVC15000	PVSNVC20000	
	extensions de garantie 5 ans	PVSNEW8005	PVSNEW10005	PVSNEW15005	PVSNEW20005	
	15 ans	PVSNEW8015	PVSNEW10015	PVSNEW15015	PVSNEW20015	
entrée (CC)	plage de fonctionnement MPPT (à pleine puissance)	350 - 850 V	350 - 850 V	350 - 800 V	350 - 800 V	
	plage de tension d'entrée	200 - 1000 V				
	tension de démarrage	200 V				
	tension maximale d'entrée (circuit ouvert)	1000 V				
	Nombre de MPPT	2				
	courant continu maximal d'entrée par canal MPPT	16 A	20 A	23 A	30 A	
	courant de court circuit max. par MPPT	24 A	30 A	30 A	30 A	
	puissance maximum d'entrée CC	8,3 kW	10,4 kW	17 kW	22 kW	
	puissance max par entrée MPPT	5,5 kW	7 kW	8,5 kW	11 kW	
	type de connecteur CC	MC4, 4 paires (2+2)				
	sectionneur CC	Intégré				
	sortie (CA)	puissance nominale de sortie	8 kVA	10 kVA	15 kVA	20 kVA
		tension nominale de sortie	230/400 V triphasé			
isolation		sans transformateur (TL)				
plage de tension CA		184 V - 276 V				
plage de fréquence		50 / 60 Hz +/- 3 Hz				
courant maximal de sortie		12,8 A	16 A	24 A	32 A	
distorsion harmonique total (THD)		< 3 %				
facteur de puissance (réglable)		- 0,8 à + 0,8				
type de connexion CA		connecteur IP 67				
rendement		maximum / européen	98,2 % / 97,4 %	98,3 % / 97,7 %	98,0 % / 97,3 %	98,0 % / 97,5 %
		consommation (nuit)	< 2 W			
autres caractéristiques		degré de protection	IP 65 (électronique) IP 55 (ventilation)			
		catégorie climatique (selon IEC 60721-3-4)	4K4H			
	refroidissement	ventilateur				
	enveloppe	aluminium				
	poids produit / avec emballage	41 kg / 48,5 kg		67,2 kg / 122 kg		
	dimensions produit (H x L x P)	64 x 61,2 x 27,8 cm		96 x 61,2 x 27,8 cm		
	dimensions emballage (H x L x P)	75 x 74 x 40 cm		115 x 79 x 48 cm		
	température d'utilisation	- 20 à 60 °C (1)				
	altitude	jusqu'à 2000 m				
	humidité relative	0 - 100% (sans condensation)		5 - 90% (sans condensation)		
	émission de bruit (à 1 m)	< 50 dbA		< 55 dbA		
	enregistreur de données intégré	365 jours				
	interface	écran LCD (320 x 240 pixels), 4 boutons				
relais multifonctions	oui					
interface de communication	Modbus RS 485 (standard)					
conformité	sécurité électrique	marquage CE pour les directive basse tension IEC 62109-1 / IEC 62109-2 AS3100 (Australie / Israël pour TL 15000 E et TL 20000 E)				
	connection au réseau	VDE0126-1-1, VDE-AR-N 4105, RD1663, RD661, RD1699, CEI 0-21, A70, UTE C15-712-1		BDEW, ENEL-Guida, CEI 0-21, A70, G59/2, AS4777/SI4777, PO12.3, IEC 62116, IEC 61727		
	environnement	RoHS, REACH				
compatibilité électromagnétique	marquage CE pour les directives 2004-108-EC émissions : EN 61000-6-3 (résidentiel) immunité : EN 61000-6-2 (industriel)					

(1) démarrage à froid - 15 °C. Vpv ≤ 500 V, déclassement en température : 40 °C

DR 1 - Résolution d'équation numérique par la méthode Newton-Raphson

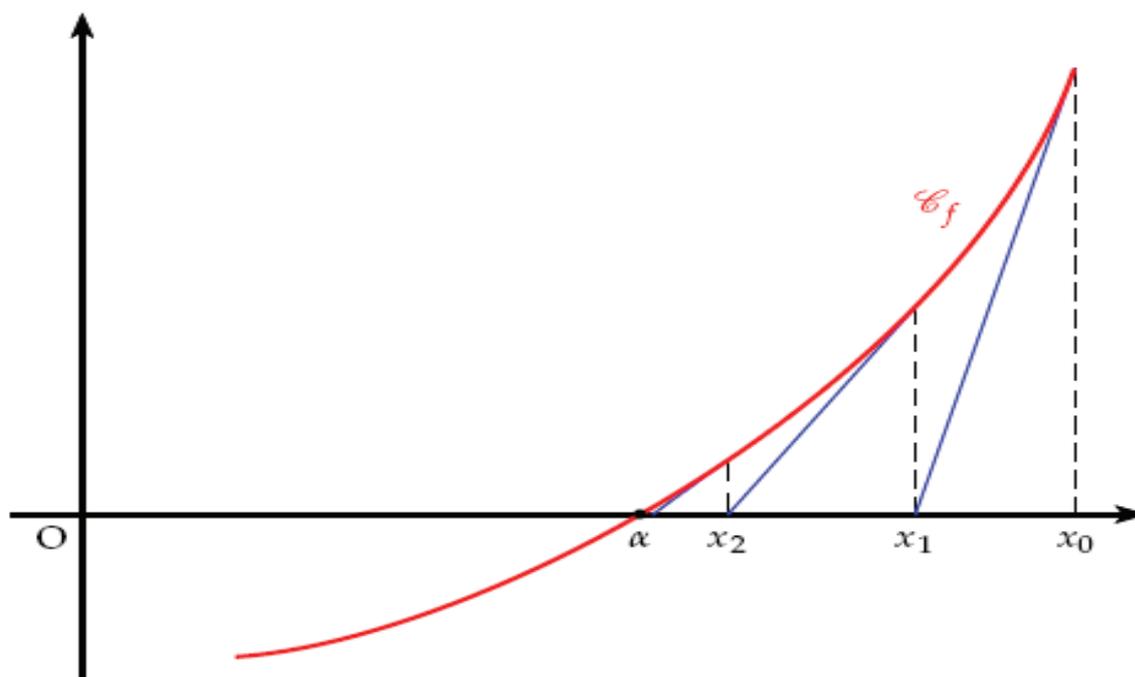
1. Présentation

La méthode décrite permet de résoudre une équation numérique par approximations successives et faire converger de façon rapide l'équation de récurrence.

2. Principe

La méthode consiste à introduire une suite (x_n) d'approximations successives de l'équation $f(x) = 0$.

- On part d'un x_0 proche de la solution.
- À partir de x_0 , on calcule un nouveau terme x_1 de la manière suivante : on trace la tangente à C_f en x_0 . Cette tangente coupe l'axe des abscisses en x_1 comme indiqué sur la figure ci-dessous.
- On réitère ce procédé en calculant x_2 en remplaçant x_0 par x_1 , puis x_3 en remplaçant x_1 par x_2 et ainsi de suite.



3. Formule de récurrence

x_{n+1} est l'abscisse du point d'intersection de la tangente à C_f en x_n avec l'axe des abscisses. L'équation de la tangente en x_n est : $y = f'(x_n)(x - x_n) + f(x_n)$. Cette tangente coupe l'axe des abscisses quand $y = 0$:

$$f'(x_n) \cdot (x - x_n) + f(x_n) = 0 \Leftrightarrow f'(x_n) \cdot (x - x_n) = -f(x_n)$$

$$x - x_n = -\frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \Leftrightarrow x = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

On a donc la relation de récurrence suivante : $x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$

4. **Algorithme**

Lorsque la suite converge, elle converge de façon quadratique c'est à dire que le nombre de chiffres significatifs double à chaque itération. Si l'on s'en tient à une précision inférieure à 10^{-15} , la suite doit alors converger en moins de 10 itérations. On pourra mettre une condition d'arrêt de l'algorithme lorsque le nombre de boucles dépassera 10 car alors la suite ne converge pas. Il faudra alors prendre un x_0 plus proche de α .

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DREP 1 - Caractéristiques des cellules PV

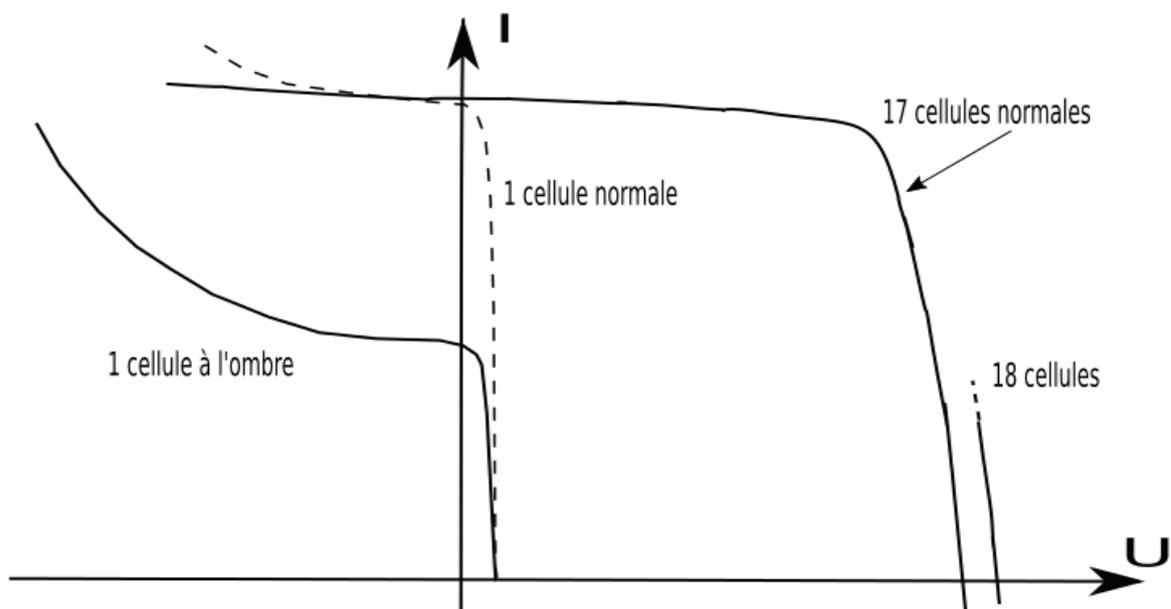


Figure 11. Etude de l'ombrage d'une cellule PV

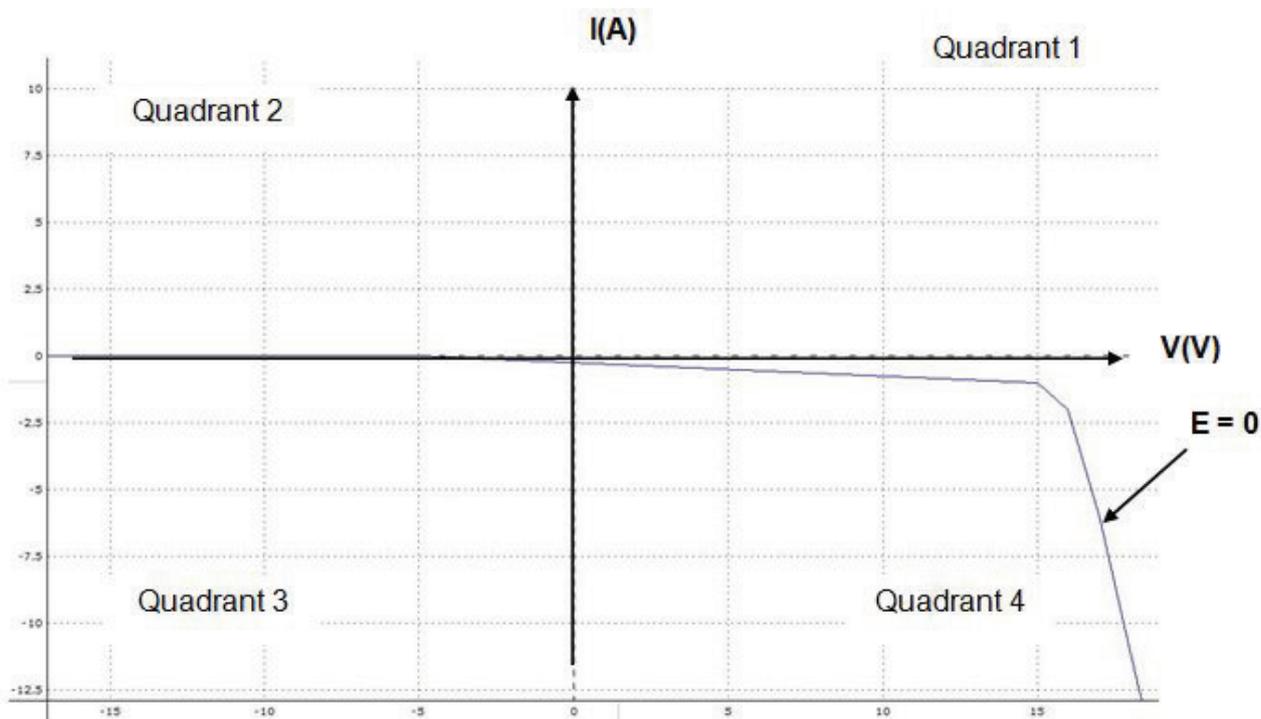


Figure 12. Tracé des caractéristiques de la cellule en fonctionnement générateur

DREP 2 - Exploitation du modèle de la cellule

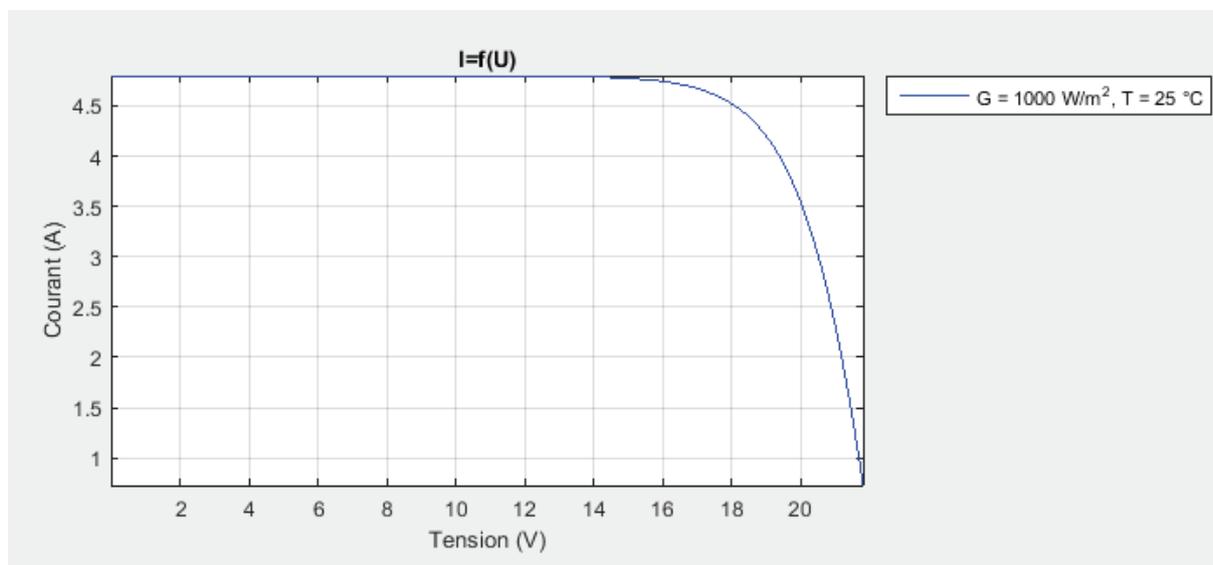


Figure 13. Evolution de la caractéristique $I=f(U)$ en fonction de la température

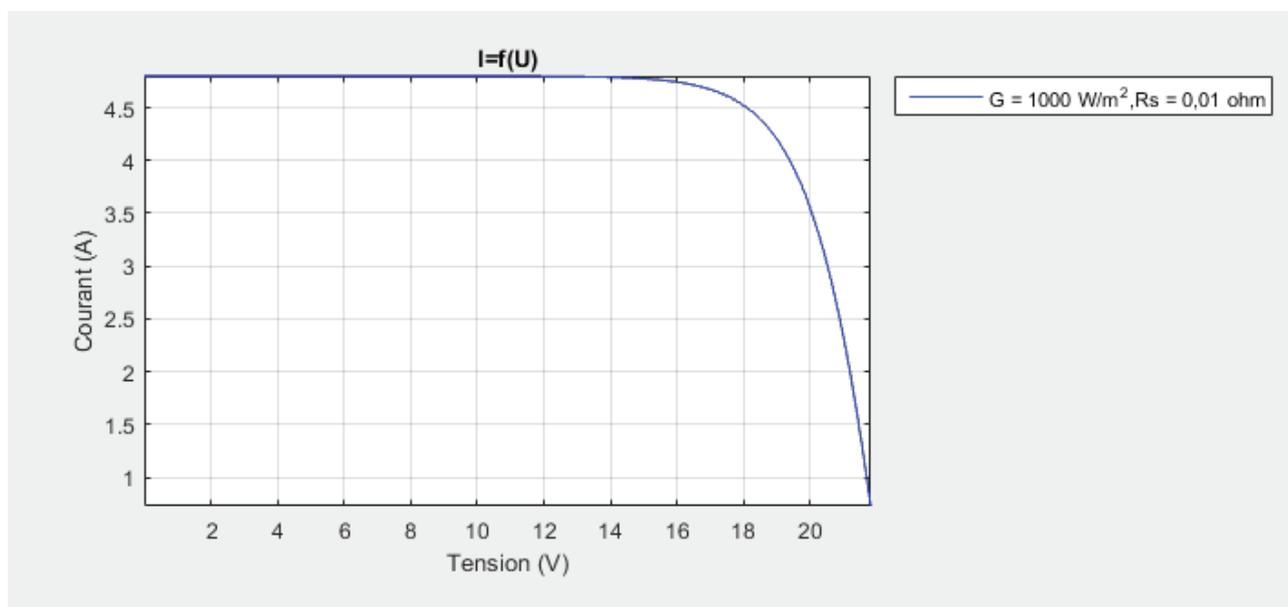


Figure 14. Evolution de la caractéristique $I=f(U)$ en fonction de R_s

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DREP 3 - Réseau

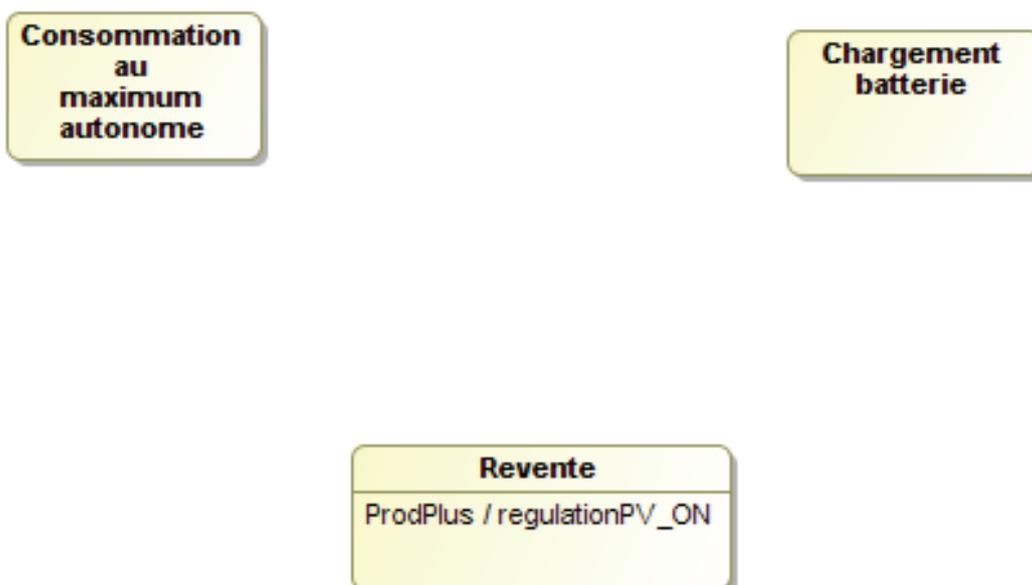
Question 22 : Synthèse des adresses IP utilisables

Adresse réseau	Masque associé	Adresse minimale assignable	Adresse max assignable	Nombre possible d'adresses
192.168.1.128	255.255.255.192			

Question 23 - Table de routage du routeur

Destination	Masque	Passerelle	Interface

DREP 4 - Machine d'état



DREP 5 - Implémentation d'une machine d'état

DEBUT

//Déclaration des constantes

FRS : 1 //FRS pour Fourniture Réseau sans délestage

FRD : 2 //FRD pour Fourniture Réseau avec délestage

FRB : 3 //FRB pour Fourniture Réseau avec Batterie

//Déclaration des variables

Etat : entier //contient l'état courant

//Initialisation

Etat <- FRS

TANT QUE Mode = FournitureReseau

 SELON Etat

 Cas FRS :

 Utiliser onduleurs pour fournir réseau

 Utiliser toutes les charges

 Mise à jour des informations d'entrée

.....
.....
.....

 Cas FRD :

 Utiliser onduleurs pour fournir réseau

 Couper les charges au minimum (délestage)

 Mise à jour des informations d'entrée

.....
.....
.....
.....
.....

 Cas FRB :

 Utiliser onduleurs + batterie pour fournir réseau

 Couper charges au minimum (délestage)

.....
.....
.....
.....
.....

 FIN SELON

FTQ