



Le photovoltaïque comme source d'énergie durable

- composants des systèmes modernes d'utilisation de l'énergie photovoltaïque
- caractéristiques physiques des cellules solaires et des modules photovoltaïques dans différentes conditions

Table des matières

Le photovoltaïque comme source d'énergie durable

Le développement technologique favorable ainsi que des incitations économiques ont permis ces dernières années une croissance importante de la puissance photovoltaïque installée. L'électricité solaire produite alimente directement le réseau d'un fournisseur d'énergie ou est consommée sur place. Les applications vont des installations au sol de plusieurs 100 de MW à l'alimentation de microconsommateurs autonomes, en passant par les modules intégrés aux bâtiments.

Les avantages de la conversion directe de la lumière en électricité sont bien connus: L'électricité solaire contribue à la protection de l'environnement, réduit le transport d'électricité et permet une alimentation en énergie indépendante et économique.

La réfrigération solaire est un processus de refroidissement alimenté directement par l'énergie solaire. L'énergie solaire est utilisée ici comme source renouvelable d'alimentation en chaleur.

L'avantage des installations solaires pour le refroidissement tient au fait que la disponibilité de l'énergie solaire augmente avec le besoin de refroidissement. Les concepts de refroidissement solaire gagnent en importance, tant pour les petites applications décentralisées qu'à l'échelle industrielle.

Pour exploiter au mieux le potentiel de l'énergie solaire dans le monde et assurer un approvisionnement énergétique durable, il est impératif de bien comprendre et d'optimiser les concepts d'exploitation qui sont pour partie très différents les uns des autres.

Photovoltaïque

Connaissances de base

Connaissances de base

Énergie solaire

Connaissances de base

Photovoltaïque

Principes de base technologiques des cellules solaires

ET 252

Mesures effectuées sur les cellules solaires

Étude et simulation de systèmes

ET 255

Options des opérations des systèmes à électricité solaire modulaire

ET 255.01

Simulateur photovoltaïque

ET 255.02

Modules photovoltaïques pour systèmes à électricité solaire

ET 255.03

Consommateurs dans les systèmes à électricité solaire

Bien utiliser les modules photovoltaïques

ET 250

Effectuer des mesures sur des modules photovoltaïques

ET 250.01

Photovoltaïque en fonctionnement sur le réseau

ET 250.02

Photovoltaïque en îlotage

Refroidissement solaire

ET 256

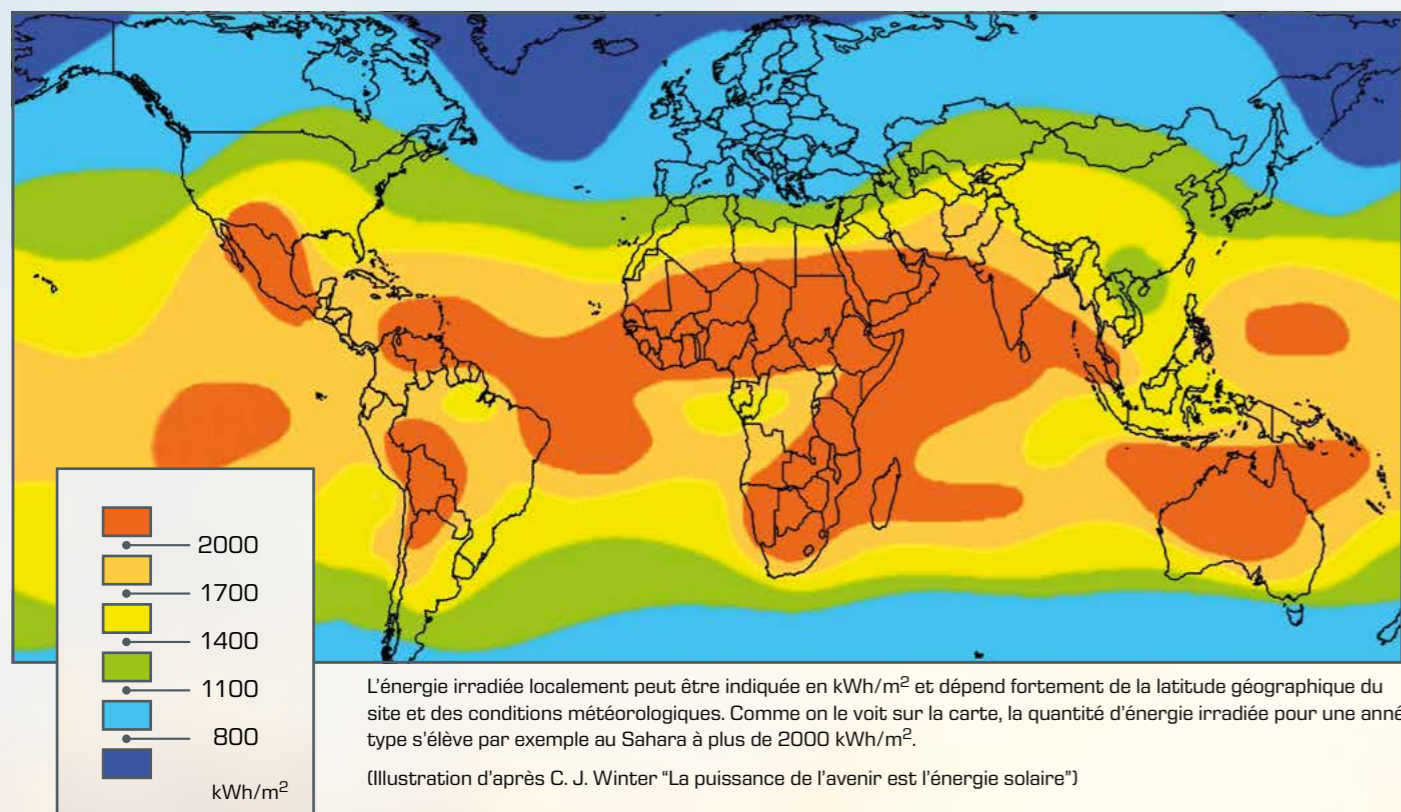
Refroidissement avec l'électricité de cellules solaires

Connaissances de base Énergie solaire

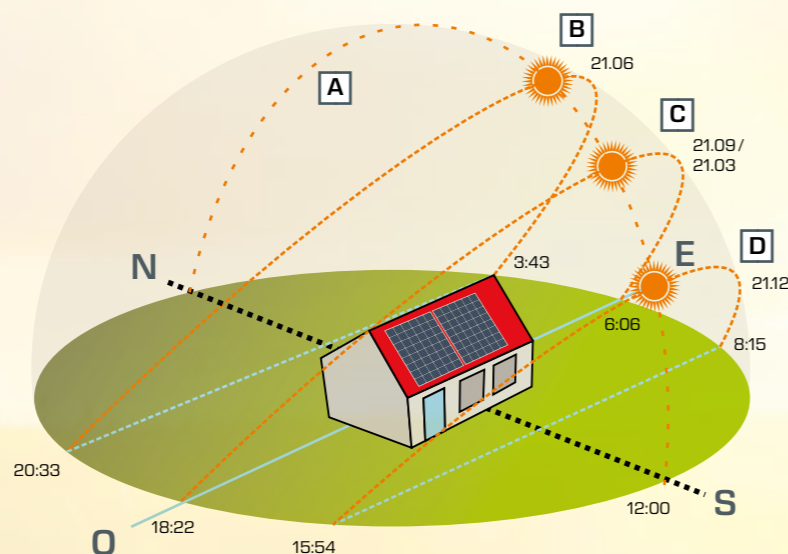
Pléthore d'énergie

La quantité d'énergie solaire qui irradie les continents chaque année est presque 2000 fois supérieure au besoin global en énergie sur la même période. Que ce potentiel doit être exploité

le plus efficacement possible tombe sous le sens, a fortiori lorsqu'on pense à toute la problématique climatique mondiale.



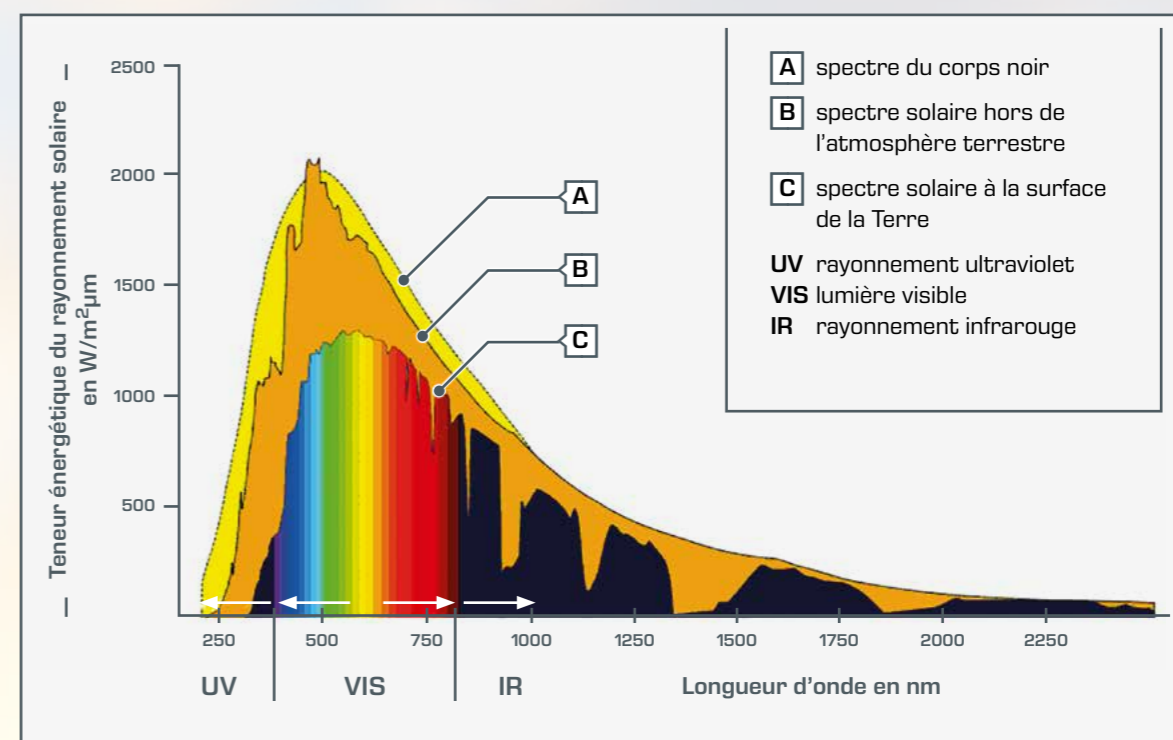
L'orientation des surfaces absorbantes en direction du ciel de même que leur inclinaison jouent un rôle important dans l'optimisation du rendement d'une installation solaire. L'illustration montre la trajectoire du soleil visible sur la terre à différentes saisons. Les heures mentionnées de lever et de coucher du soleil sont celles du site de Berlin:



- A** zénith
- B** solstice d'été
- C** début du printemps/de l'automne
- D** solstice d'hiver

Afin d'optimiser l'exploitation du rayonnement solaire, il est nécessaire pour commencer de connaître les propriétés de ce rayonnement. La composition spectrale de la lumière du soleil est, à ce titre, particulièrement intéressante. Des analyses spectroscopiques permettent de déterminer la teneur en énergie de la

lumière du soleil à différentes longueurs d'onde. En adaptant mieux les propriétés spectrales du receveur ou de l'absorbeur en fonction du spectre solaire, on répond à une condition essentielle d'amélioration du bilan énergétique.



Le spectre de la lumière solaire

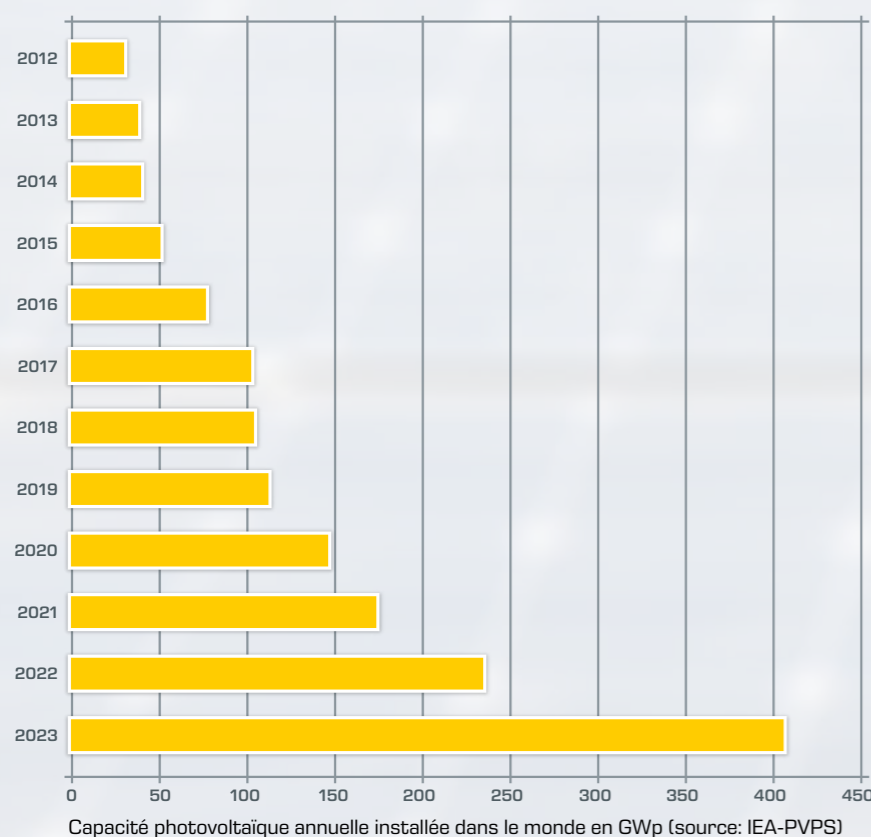
A l'intérieur du soleil, les processus de fusion génèrent des températures pouvant aller jusqu'à $15 \cdot 10^8$ K. Le spectre de la lumière solaire émise repose néanmoins sur des processus dans les couches externes du soleil. La composition spectrale peut être assimilée, d'un point de vue théorique, à ce que l'on appelle un corps noir ayant une température de surface de 5777K.

Sur le trajet vers la surface de la Terre, le rayonnement solaire est atténué dans l'atmosphère par diffusion et absorption.

Connaissances de base Photovoltaïque

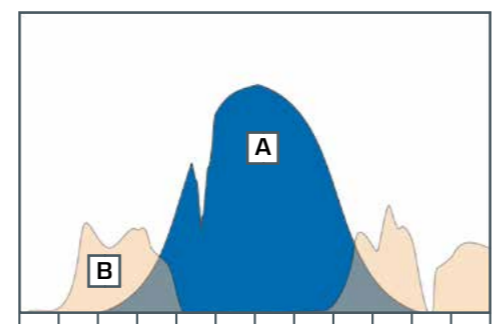
Le délai de récupération de l'énergie est le temps nécessaire pour qu'un système photovoltaïque produise autant d'énergie qu'il en a consommé pour sa production, son installation et sa maintenance. Selon l'AIE (Agence internationale de l'énergie), ce délai était d'environ 1 à 1,3 an en Europe en 2023.

Fin 2023, des systèmes d'une puissance électrique totale de plus de 1580 GW avaient été installés dans le monde. Comme le montre le graphique ci-dessous, la capacité des systèmes nouvellement installés est passée de 236 GWp à plus de 400 GWp en 2022 et 2023.



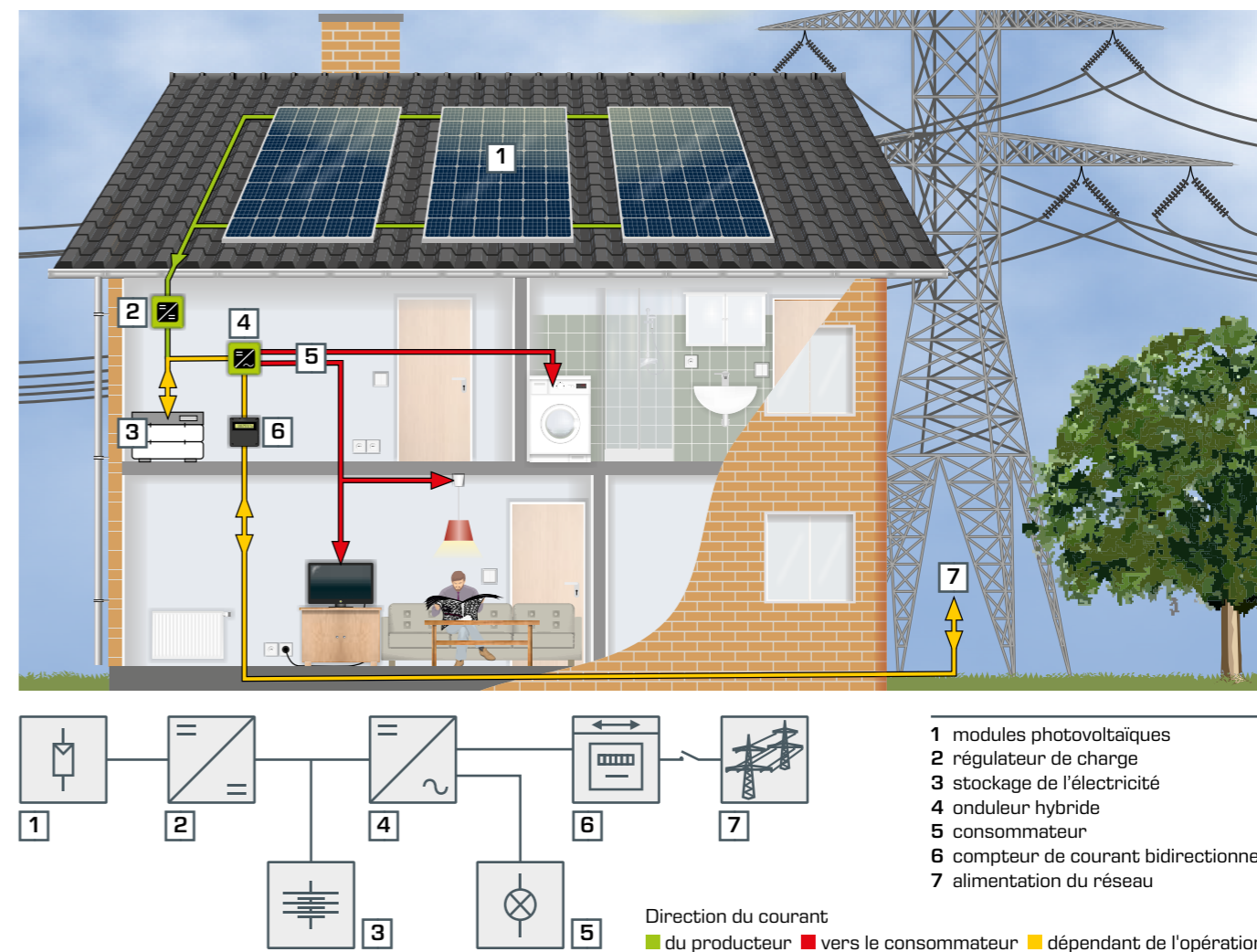
L'électricité solaire et besoins en électricité dans un bâtiment d'habitation

Les données de mesure typiques de l'électricité solaire produite et de la demande en électricité d'un bâtiment d'habitation pendant une journée montrent le besoin en électricité stockée. Ce n'est que grâce aux systèmes de stockage qu'il est possible de couvrir les besoins du matin et du soir.

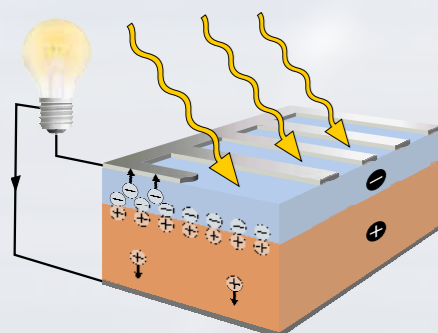


A production d'électricité par des modules photovoltaïques
B couverture des besoins en électricité par des systèmes de stockage

Composants d'installation pour l'utilisation de l'électricité solaire



Fonctionnement des cellules solaires en matériau semi-conducteur



Une cellule solaire en matériau semi-conducteur convertit l'énergie de rayonnement de la lumière en énergie électrique. Il faut pour cela que l'énergie, ou la longueur d'onde des quantas de lumière (photons) absorbés soient suffisantes. En effet, il faut que l'énergie absorbée dans le semi-conducteur soit suffisante pour qu'un électron puisse se libérer de la liaison du réseau cristallin atomique. L'électron devenu mobile laisse une place libre dans le réseau cristallin. Ce trou est chargé positivement et est également mobile dans le semi-conducteur.

Pour pouvoir exploiter ces porteurs de charge électrique mobiles, on intègre un champ électrique au semi-conducteur en dopant ce dernier avec des atomes étrangers adaptés.

La présence de ce champ électrique interne permet de séparer les porteurs de charge positive et négative générés dans la cellule solaire. Cela rend possible l'exploitation de la cellule solaire en tant que source dans un circuit électrique.

Exploitation efficace de l'électricité solaire

Afin de pouvoir collecter l'électricité solaire photovoltaïque, on forme par exemple un module à partir de 36 cellules solaires individuelles. Concernant l'exploitation de l'électricité solaire ensuite on peut distinguer différents concepts:

- îlotage
- en fonctionnement sur le réseau
- en fonctionnement sur le réseau avec stockage

Un îlotage se prête par exemple aux applications dans des endroits isolés qui ne sont pas raccordés à un réseau

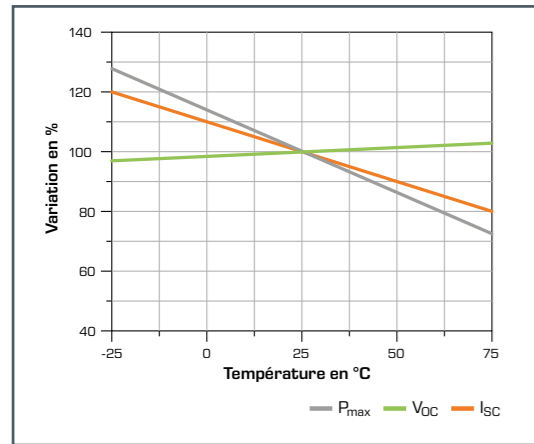
électrique public. Pour assurer une alimentation électrique sans interruptions, il est important ici de stocker l'énergie électrique afin de pouvoir l'utiliser par exemple aussi pendant la nuit.

L'électricité solaire des installations photovoltaïques couplées au réseau vient directement alimenter un réseau public. Un onduleur est requis ici pour convertir le courant continu des modules photovoltaïques en courant alternatif ayant une fréquence et une tension adaptées.

Si la quantité d'électricité qui vient alimenter le réseau électrique public est trop élevée, ce dernier peut devenir instable. Pour contrecarrer cet effet, l'autoconsommation de l'électricité solaire est soutenue par des subventions en Allemagne. Les installations photovoltaïques couplées au réseau requises sont complétées par des unités de stockage. En pilotant habilement la consommation et le chargement des unités de stockage, il est possible d'augmenter fortement la part d'électricité solaire autoconsommée.

ET 252

Mesures effectuées sur les cellules solaires



L'ET 252 permet d'étudier de manière ciblée l'effets de la température sur la cellule solaire.

Sur le produit:



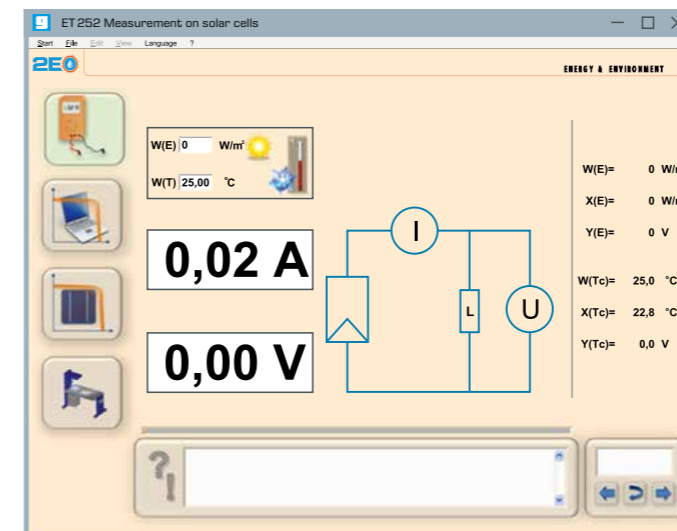
L'ET 252 permet d'enseigner les principes de base de la photovoltaïque au travers d'expériences très bien conçues.

Les principaux composants de l'appareil d'essai sont quatre cellules solaires éclairées par un module d'éclairage ajustable. Un élément de refroidissement à effet Peltier permet une thermostatation ciblée des cellules solaires. Cela permet de réaliser des séries de mesure comparables pour étudier l'influence de la température sur les grandeurs caractéristiques des cellules.

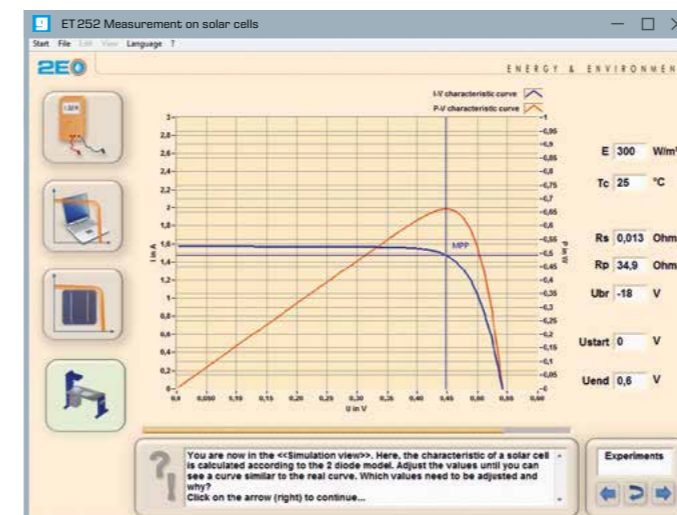


Logiciel avec tutoriel

Le logiciel GUNT complet gère toutes les fonctions de l'appareil à partir d'un PC externe ou d'un ordinateur portable, via une interface USB. Outre le réglage de la luminosité et de la température, il permet aussi de paramétrer la mesure automatisée des caractéristiques par le biais d'un collecteur de courant pilotable.



Le logiciel GUNT comprend un tutoriel intégré qui permet un apprentissage pas à pas des principes de base de la photovoltaïque et explique les différentes possibilités de mesure offertes par l'appareil.



Le mode de simulation permet d'étudier l'influence de paramètres de cellule spécifiques sur la caractéristique courant/tension.



Contenu didactique

- comportement physique des cellules solaires en fonction de l'éclairement et de la température
- enregistrement de caractéristiques courant-tension
- calcul de l'intensité et de la puissance réalisable sur la base du modèle à une diode
- influence de l'éclairement et de la température sur les caractéristiques
- montage de cellules solaires en parallèle et en série
- effet des diodes de dérivation
- réduction de la puissance par l'opacité

ET 255 Système à électricité solaire modulaire avec accessoires

L'électricité solaire produite par les installations photovoltaïques peut être utilisée pour alimenter un réseau électrique public (opération parallèle au réseau) ou pour la consommation locale (opération en îlotage). Dans les systèmes d'électricité solaire modernes, l'utilisation contrôlée en fonction des besoins et de la disponibilité comprend la combinaison des deux options opérationnelles. Pour contrôler les flux d'énergie, on utilise des systèmes de stockage et des systèmes dits de gestion de l'énergie.

Pour permettre des essais avancés avec des composants actuels issus de la pratique photovoltaïque, GUNT propose un système de composants d'essai adaptés les uns aux autres. Avec les accessoires, il est possible d'étudier le comportement d'un système d'électricité solaire dans des conditions opérationnelles variables.

Sur le produit:

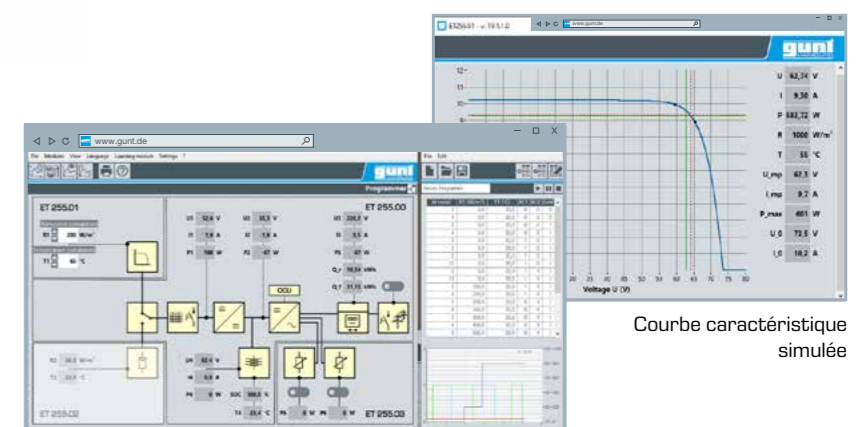


Le logiciel GUNT installé sur un PC externe permet la commande du système à électricité solaire ainsi que l'acquisition et la représentation des valeurs de mesure. De plus, il est possible de commander des séquences d'essais avec des profils de production et de consommation définis.

Le logiciel GUNT compatible réseau permet de suivre et d'évaluer les essais sur un nombre illimité de postes de travail via une connexion LAN/WLAN avec le réseau local.



LAN



Courbe caractéristique simulée

Diagramme du système avec programmeur

- Contenu didactique**
- analyse des éléments des systèmes modernes d'utilisation de l'énergie photovoltaïque
 - optimisation des performances grâce au suivi du point maximal de puissance (tracker MPP)
 - fonctionnement des onduleurs et des régulateurs de charge
 - comportement en service en cas de variation de l'éclairage et de la température
 - rendement et comportement dynamique des éléments de l'installation
 - systèmes de gestion de l'énergie pour l'optimisation de la consommation propre dans le cadre du fonctionnement en réseau
 - systèmes de gestion de batterie pour une utilisation optimisée des systèmes de stockage
 - cas d'application lors d'une disponibilité variable du réseau
 - essais en cas de profils de production et de consommation prédéfinis

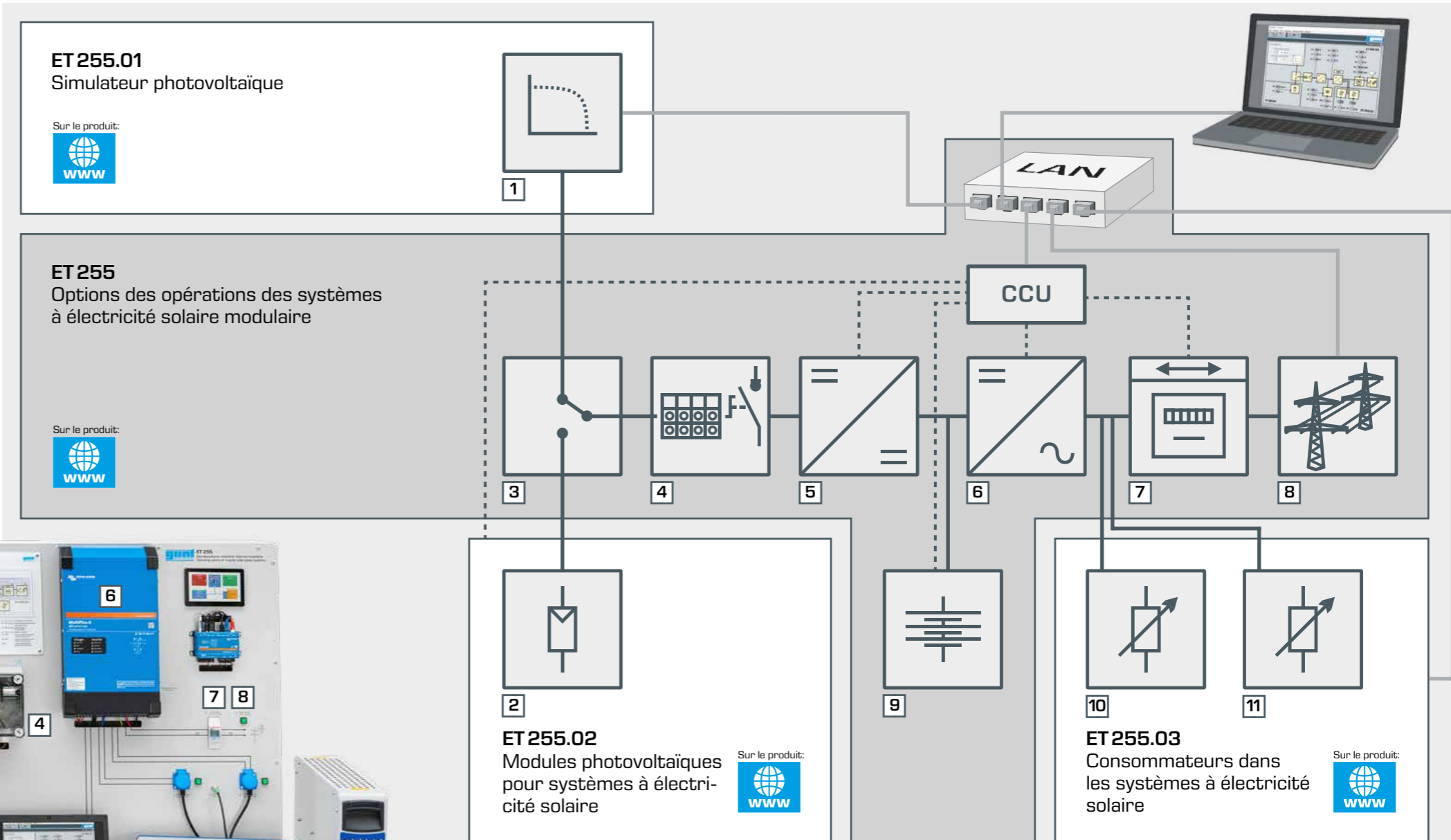
Composants en réseau d'un système d'électricité solaire moderne avec ET 255

Configuration du système complet ET 255 avec accessoires

Le banc d'essai ET 255 contient des composants en réseau d'un système d'électricité solaire tels qu'un accumulateur lithium-phosphate de fer servant de stockage, un régulateur de charge MPP, un onduleur de réseau et un compteur de courant bidirectionnel ainsi qu'un système de gestion de l'énergie (EMS). Le système de gestion de l'énergie enregistre les flux d'énergie et commande les différents composants du système.

La source d'électricité solaire est soit le simulateur photovoltaïque ET 255.01, soit des modules photovoltaïques ET 255.02. Pour obtenir un éclairage suffisant, le banc d'essai doit être alimenté par la lumière du soleil ou par la source de lumière artificielle HL 313.01, disponible en option.

L'ET 255.03 comprend deux consommateurs électriques contrôlables qui ont une priorité différente lorsqu'ils sont alimentés par l'ET 255.



- | | | |
|--|--------------------------------------|--|
| 1 simulateur photovoltaïque ET 255.01 | 5 régulateur de charge MPP | 9 stockage |
| 2 modules photovoltaïques ET 255.02 | 6 onduleur de réseau | 10 AC-consommateur 1 ajustable ET 255.03 |
| 3 commutateur | 7 compteur de courant bidirectionnel | 11 AC-consommateur 2 ajustable ET 255.03 |
| 4 disjoncteur à courant continu et protection contre les surtensions | 8 connexion de réseau | |

Le banc d'essai est commandé par le logiciel GUNT sur un PC externe (non fourni) connecté via une interface réseau. Dans l'unité centrale de communication et de commande (CCU), les données de l'onduleur de réseau, du compteur de courant bidirectionnel, du système de gestion de batterie pour le stockage, du régulateur de charge MPP et des modules photovoltaïques sont saisies.

ET 250 Effectuer des mesures sur des modules photovoltaïques



Ce banc d'essai permet d'enseigner les principaux aspects du fonctionnement des modules photovoltaïques en lien étroit avec la pratique. L'ET 250 dispose de deux modules photovoltaïques. Les modules peuvent être montés au choix en série ou en parallèle. L'angle d'inclinaison des modules peut être ajusté individuellement. Pour les essais, une unité de mesure est disponible, qui affiche de manière claire toutes les valeurs de mesure pertinentes. Des caractéristiques I-U peuvent être établies à partir des valeurs de mesure. Ces caractéristiques sont un critère essentiel d'évaluation de l'efficacité d'une installation photovoltaïque.

Sur le produit:



Pour réaliser des essais de laboratoire dans des conditions d'éclairage uniformes, nous vous recommandons d'utiliser notre **source de lumière artificielle HL 313.01**.



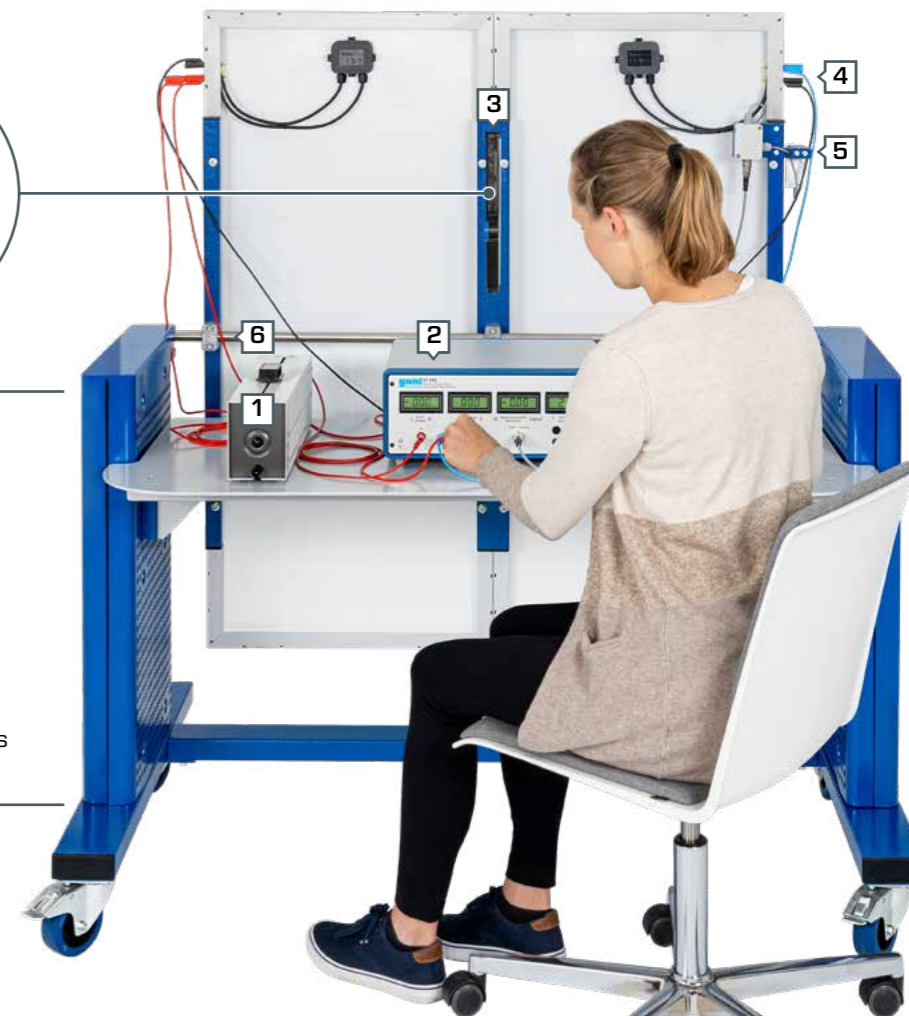
Sur le produit:



Cette source de lumière permet de créer des conditions d'essai reproductibles en intérieur. Elle est constituée de huit lampes halogènes disposées sur deux rangées. L'angle d'inclinaison des différentes lampes halogènes peut être modifié, pour que la lumière incidente soit aussi verticale que possible au moment de réaliser l'essai concerné.

Contenu didactique

- comportement physique de modules photovoltaïques en fonction de l'éclairage, de la température et de l'opacité
- familiarisation avec des grandeurs caractéristiques importantes telles que l'intensité de court-circuit, la tension à vide et la puissance maximale
- enregistrement de caractéristiques I-U avec des montages en parallèle et en série
- influence de l'inclinaison du modules photovoltaïques
- détermination du rendement

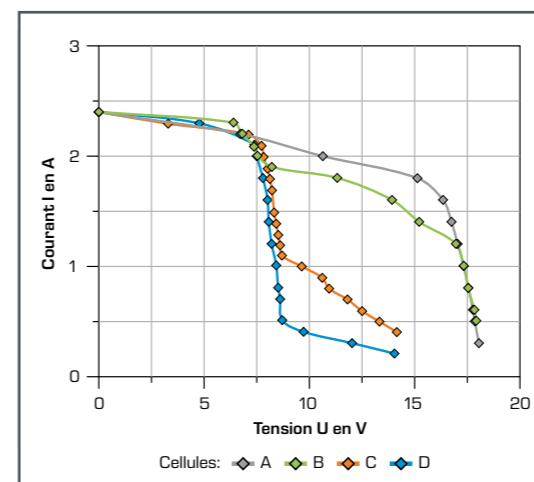


Composants et accessoires

- 1 résistance à curseur comme charge variable
- 2 amplificateur de mesure
- 3 gradimètre
- 4 capteur de température
- 5 enregistreur de l'éclairagement
- 6 modules photovoltaïques pivotables

Expériences d'opacité

L'opacité est sur de nombreux sites une cause importante de pertes de rendement. Des essais ciblés sont prévus avec l'ET 250, qui permettent d'étudier cet aspect. Les résultats peuvent être comparés à des essais de référence documentés.



Caractéristiques I-U pour opacités des cellules individuelles



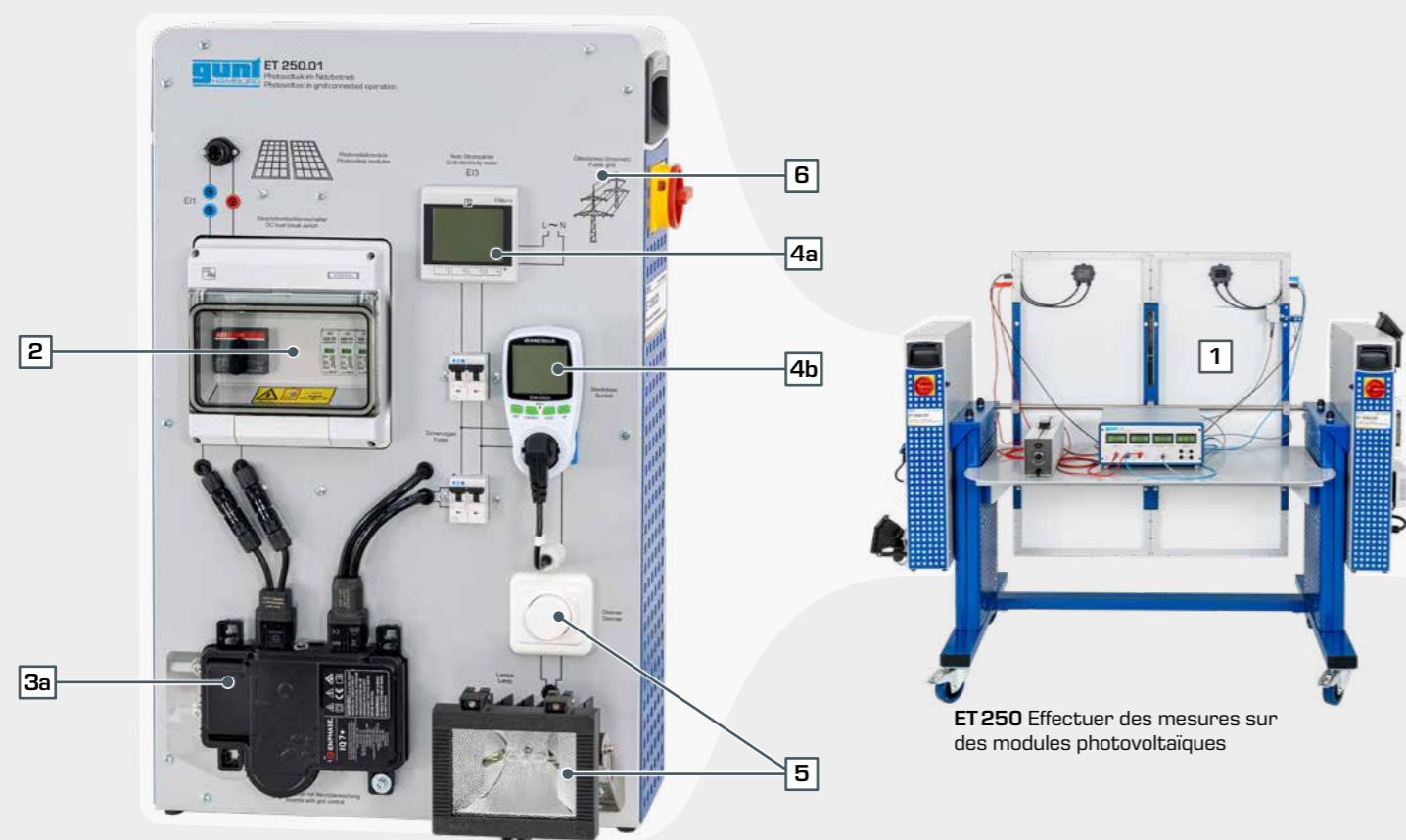
L'opacité dû aux nuages

ET 250.01 Photovoltaïque en fonctionnement sur le réseau

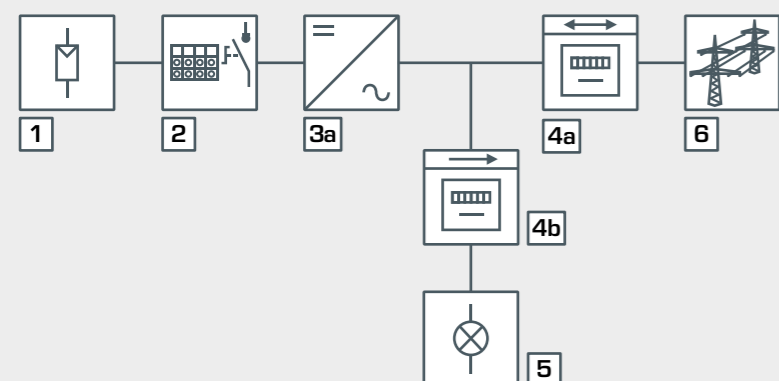
L'ET250.01 est un module d'extension de l'ET250 et permet donc de compléter de façon judicieuse les contenus didactiques de l'ET 250. L'appareil d'essai comprend des composants issus de la pratique photovoltaïque, nécessaires pour exploiter l'électricité solaire dans le cas d'un raccordement à un réseau électrique public. L'onduleur avec optimisation de la puissance

(MPP) est en fonctionnement connecté au réseau et varie le courant et la tension pour que les modules photovoltaïques délivrent une puissance maximale. Les quantités d'électricité prélevées et transmises au réseau sont enregistrées par un compteur de courant bidirectionnel moderne.

Sur le produit:



ET 250.01 Photovoltaïque en fonctionnement sur le réseau



- 1 modules photovoltaïques de ET 250
- 2 disjoncteur à courant continu et de la protection contre les surtensions
- 3 régulateur de charge avec optimisation de la puissance (MPP)
- 3a onduleur avec surveillance du réseau et optimisation de la puissance (MPP)
- 3b onduleur simple
- 4a compteur de courant bidirectionnel pour l'alimentation du réseau
- 4b compteur de courant pour la consommation propre
- 5 lampe halogène avec variateur de lumière
- 6 alimentation du réseau
- 7 accumulateur

ET 250.02 Photovoltaïque en îlotage

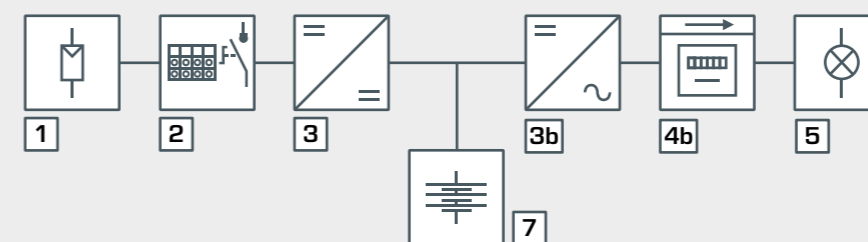
L'ET250.02 est également un module d'extension pour l'ET250. L'appareil permet d'enseigner des aspects essentiels de l'exploitation de l'électricité solaire dans les systèmes insulaires. L'ET250.02 comprend en outre les composants requis suivants: Le régulateur de charge avec optimisation de la puissance (MPP) surveille la tension de l'accumulateur et optimise

le point de fonctionnement des modules photovoltaïques. En îlotage, il est possible d'utiliser des onduleurs moins complexes vu qu'il n'est alors pas nécessaire de surveiller la tension du réseau.

Sur le produit:



ET 250.02 Photovoltaïque en îlotage



Contenu didactique	
■	composants issus de la pratique de l'exploitation de l'électricité solaire
■	fonctionnement du disjoncteur à courant continu et de la protection contre les surtensions
■	fonctionnement des régulateurs de charge et des onduleurs
■	influence de la charge sur le rendement de des composants
■	influence des variations de l'offre d'énergie solaire et de la consommation d'électricité sur le rendement du système
■	fonctionnement des compteurs de courant modernes
■	bilan énergétique en fonctionnement en îlotage et sur le réseau

ET 256

Refroidissement avec l'électricité de cellules solaires



ET 256.01 Bloc d'alimentation de laboratoire

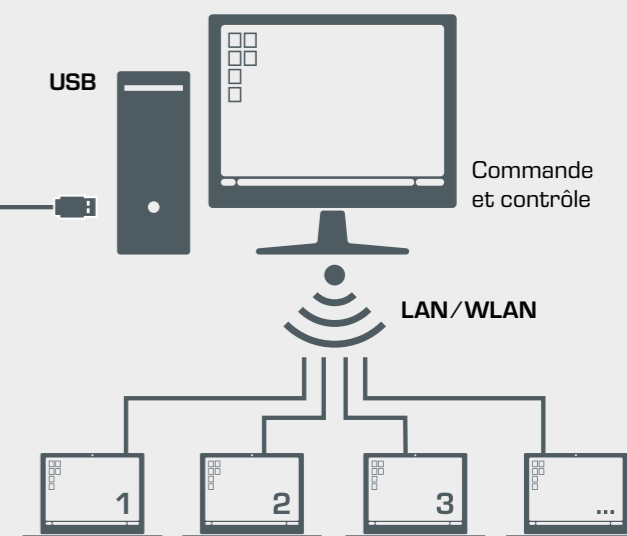
ET 250 Effectuer des mesures sur des modules photovoltaïques ou ET 255.02 Modules photovoltaïques

ET 256 Refroidissement avec l'électricité de cellules solaires sur Chariot de laboratoire WP300.09



HL 313.01 Source de lumière artificielle

- installation frigorifique à compression pour une utilisation avec les modules photovoltaïques ET 250, ET 255.02 ou avec le bloc d'alimentation de laboratoire ET 256.01
- l'unité de commande démarre le compresseur dès que la puissance électrique des modules photovoltaïques est suffisante
- longue durée de refroidissement grâce à l'accumulateur de froid et à l'isolation
- logiciel GUNT compatible réseau pour la commande et l'établissement du bilan des flux d'énergie



Logiciel GUNT pour la commande de l'appareil et l'acquisition des données de mesure via un PC

Contenu didactique

- alimentation d'une installation frigorifique à compression par de l'électricité produite par des modules photovoltaïques
- composants d'une installation frigorifique photovoltaïque
- fonctionnement du compresseur en cas de variation de l'offre de puissance et de la demande de froid
- chargement et déchargement des accumulateurs de froid
- coefficient de performance de l'installation frigorifique en fonction des conditions de fonctionnement
- cycle frigorifique sur le diagramme log p,h
- établissement du bilan des flux énergétiques

L'appareil d'essai ET 256 contient une chambre de refroidissement qui est refroidie par un circuit frigorifique à compression typique. En particulier, il est possible d'alimenter le compresseur à pistons directement avec de l'électricité provenant des modules photovoltaïques de l'ET 250 ou de l'ET 255.02 par l'intermédiaire d'une unité de commande. L'alimentation peut également être assurée par le bloc d'alimentation de laboratoire ET 256.01.

Sur le produit:



Le programme complet GUNT



Mécanique appliquée et conception mécanique

- statique
- résistance des matériaux
- dynamique
- dynamique des machines
- conception mécanique
- essai des matériaux



Mécatronique

- dessin industriel
- modèles en coupe
- métrologie
- techniques d'assemblage et d'ajustage
- techniques de production
- kits d'assemblage
- maintenance
- diagnostic de machines
- automatisation et conduite de procédés



Génie thermique et énergie

- principes de base de la thermodynamique
- échangeurs de chaleur
- machines à fluide thermiques
- moteurs à combustion interne
- génie frigorifique
- technique du bâtiment (CVCS)



Mécanique des fluides

- écoulement stationnaire
- écoulement non stationnaire
- écoulement autour de corps
- éléments de construction de tuyauteries et d'installations industrielles
- turbomachines
- machines volumétriques
- génie hydraulique



Génie de procédés

- génie des procédés mécaniques
- génie des procédés thermiques
- génie des procédés chimiques
- génie des procédés biologiques
- traitement de l'eau



2E Energy & Environment

- | Energy | Environnement |
|---|---------------|
| ■ énergie solaire | ■ eau |
| ■ énergie hydraulique et énergie marine | ■ air |
| ■ énergie éolienne | ■ sol |
| ■ biomasse | ■ déchets |
| ■ géothermie | |
| ■ systèmes énergétiques | |
| ■ efficacité énergétique en bâtiments | |

Contact

GSDE 181 rue Franz Liszt

F 73000 CHAMBERY

Tél : 04 56 42 80 70 Fax : 04 56 42 80 71

xavier.granjon@systemes-didactiques.fr



Consultez notre page d'accueil
www.gunt.de