

Chargeur d'accumulateurs Ni-Mh et Li-Ion optimisé pour panneau solaire

V1.0 - ©Pierre Payet-Burin – ppb@neuf.fr



Autonomie en photo numérique

Voici un système chargé de m'assurer une autonomie presque totale en photo numérique lors de randonnées pédestres sur plusieurs semaines. Utilisant un réflex numérique (Nikon D200) et photographiant en mode RAW (16 Mo par image), la solution financièrement la plus intéressante pour le stockage de plus de 1500 photos (environ 24 Go) au moment de la conception de ce chargeur (2006) était d'utiliser une carte unique de 2 Go associée à un disque dur autonome de 100 Go. Il faut y ajouter un flash, ainsi qu'un GPS.

Il s'agit donc de recharger :

- l'accumulateur Li-Ion d'un réflex Nikon D200
- divers accumulateurs au format LR6 (flash, frontale, GPS)
- un disque dur, videur de cartes mémoire Hyperdrive Space



Panneau solaire

Le panneau solaire choisi est un panneau pliable PowerFilm Solar F15-300 (<http://www.powerfilmsolar.com/>). C'est le panneau présentant le meilleur rapport puissance/poids au moment de la réalisation de ce chargeur. Il est spécifié fournir une puissance de 5 W (15.4 V, 300 mA) pour 170 g.

Bien qu'en général spécifiés pour une tension donnée (6 V ou 12 V en général) les panneaux solaires ne sont pas des générateurs de tension fixe mais ne fournissent leur maximum de puissance que pour une tension et un courant donnés dépendant de l'éclairement (cf. figure 1).

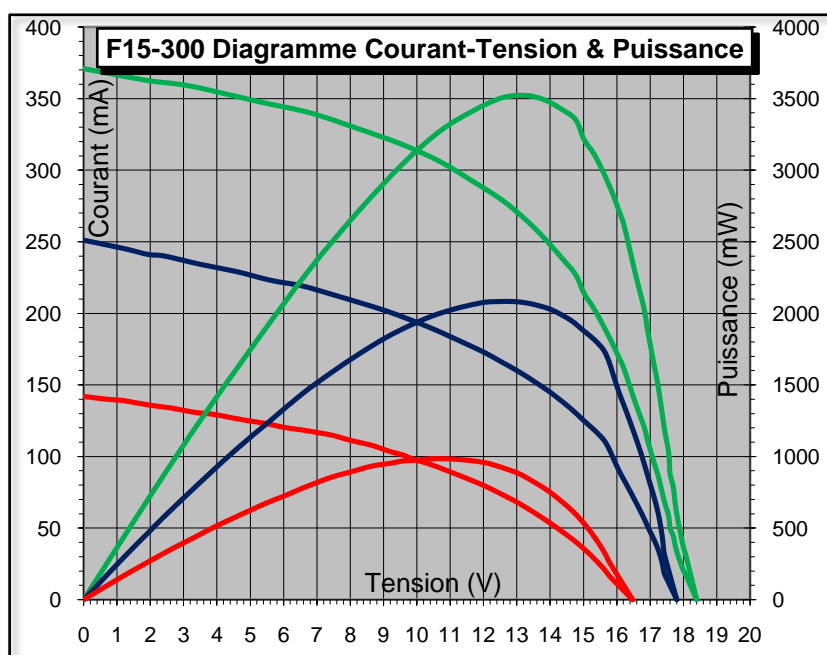


Diagramme courant-tension (courbes en arc) et puissance-tension (courbes en cloche) du panneau PowerFilm F15-300, mesuré à Grenoble au mois de Juin à 14h en plein soleil pour 3 incidences différentes : la courbe verte correspond à un panneau parfaitement perpendiculaire au soleil, la bleue à un angle de 45 ° et la rouge à une incidence encore plus faible.

On remarque ainsi que la puissance maximale disponible en usage « courant » (3.5 W) est inférieure aux 5 W spécifiés par le constructeur pour un éclairement standard de 1 kW/m² et que le maximum de puissance pour un éclairement donné s'obtient à une tension proche de 12 V (entre 11 et 13V suivant l'ensoleillement).

Figure 1 : Diagramme courant-tension et puissance-tension du panneau PowerFilm Solar F15-300

Chargeurs et accumulateurs

La charge des accumulateurs Li-Ion

Les accumulateurs Li-Ion présentent une tension nominale de 3.7 V par élément et se rechargent à tension constante de 4.2 V avec une limitation du courant de charge en début de charge. Il semble que les accumulateurs Li-Ion soient très sensibles aux conditions de charge : si la tension est trop faible, ils ne sont que partiellement rechargés, si elle est trop forte, ils risquent d'exploser.

Les blocs destinés aux appareils photos sont constitués de un ou deux éléments en série : en général un élément pour les « petits » appareils, deux éléments pour les « gros » compacts et les réflex. La tension de charge est alors pour les blocs constitués de 2 éléments Li-Ion de 8.4 V (cf. figure 2).

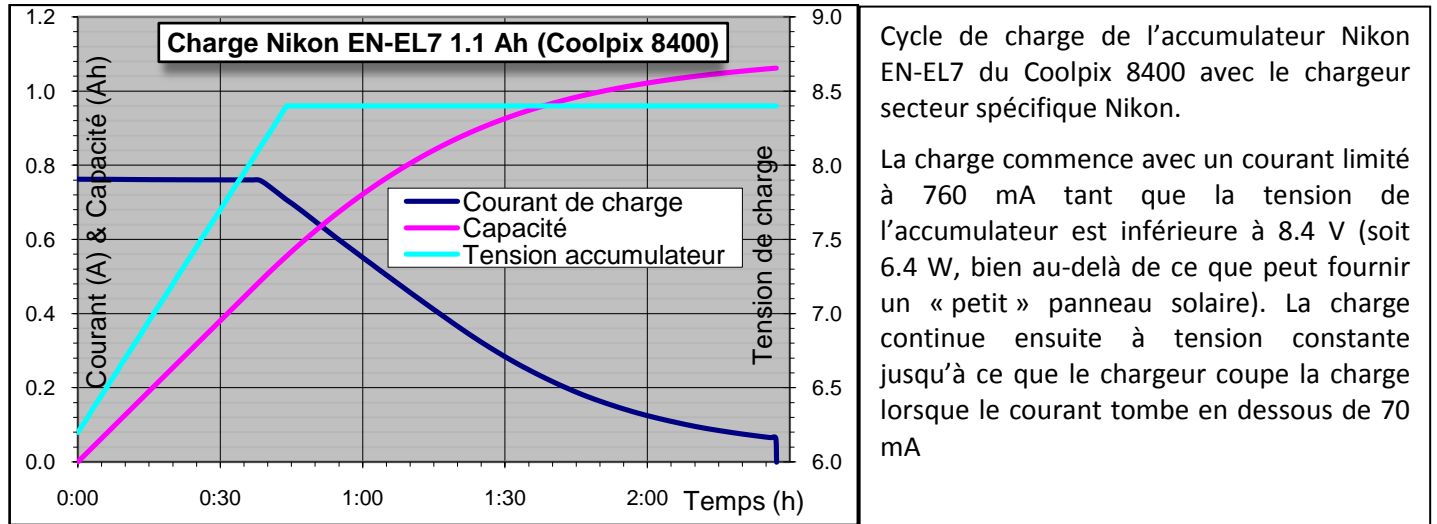


Figure 2 : Charge de l'accumulateur Nikon EN-EL7 avec le chargeur secteur Nikon

La charge des accumulateurs Ni-Mh

La charge des accumulateurs Ni-Mh s'effectue à courant constant :

- soit à un courant élevé : charge à C ou C/2 (courant en A) pour un accumulateur de capacité C (exprimée en Ah) avec détection de la fin de charge par $-dV/dt$ (baisse de la tension de l'accumulateur en fin de charge) pour les chargeurs « rapides » actuellement les plus répandus ou ceux dits « intelligents ». Ces chargeurs disposent également de capteur d'échauffement des accumulateurs et/ou d'une temporisation pour éviter la destruction des accumulateurs en cas de mauvaise détection de la fin de charge.
- soit à un courant plus faible (C/10) avec temporisation (typiquement 14h) pour les chargeurs les plus simples et les plus anciens.

Chargeurs et panneau solaire

De par leurs caractéristiques particulières, les panneaux solaires imposent des limitations quant au choix des chargeurs pouvant y être branchés :

- leur puissance limitée (2 à 3 W maximum pour une utilisation nomade raisonnable) les rend incompatibles avec les chargeurs rapides. Si le chargeur demande trop de courant par rapport à ce que peut fournir le panneau, la tension de celui-ci va chuter et le chargeur, détectant un « défaut », va en général s'arrêter. En revanche un chargeur « lent » a toutes les chances de fonctionner, mais avec l'inconvénient alors de ne pas exploiter toute la puissance potentielle du panneau solaire.
- la nature fluctuante de l'énergie solaire, surtout en utilisation « mobile » (fixation sur un sac à dos ou un vélo). Il est difficile, voire impossible d'imaginer une détection de fin de charge par $-dV/dt$ pour un accumulateur Ni-Mh : la moindre variation de l'ensoleillement (nuage, mouvement du porteur) va provoquer une variation du courant de charge qui va induire une variation de la tension de l'accumulateur pouvant être interprétée comme une fin de charge par un chargeur « intelligent ».

En outre, les panneaux solaires ne présentent leur meilleur rendement que sur une plage de tension relativement étroite (cf. courbes de la figure 1). On peut envisager d'y brancher directement les accumulateurs à recharger, mais la meilleure efficacité ne sera obtenue que si la tension des accumulateurs est proche de la tension optimale du panneau solaire. Ainsi pour le panneau F15-300 qui présente son meilleur rendement aux environs de 12 V, il faudrait y connecter au moins 8 accumulateurs Ni-Mh pour récupérer le maximum de l'énergie reçue par le panneau.

La connexion directe des accumulateurs à un panneau solaire de faible puissance est sans danger pour des accumulateurs Ni-Mh. Ceux-ci n'étant pas trop sensibles à une surcharge modérée, c'est la durée forcément limitée de l'ensoleillement qui protégera les accumulateurs. En revanche pour des accumulateurs Li-Ion qui demandent une limitation de la tension de charge, la connexion directe au panneau solaire n'est pas sans risque.

La réalisation proposée ici tente donc de pallier à ces limitations :

- fonctionnement du panneau solaire à son rendement optimum quels que soient le nombre ou le type d'accumulateurs.
- protection des accumulateurs Li-Ion de la surcharge.

Réalisation

Le chargeur décrit ici possédera donc les caractéristiques suivantes (cf. figure 3) :

- prioritairement dédié à la charge d'un accumulateur Li-Ion de réflex : limitation du courant de charge à 1A et de la tension à 8.4 V
- adaptation du courant de charge de l'accumulateur à la puissance disponible en sortie du panneau pour que celui-ci fonctionne aux environs de 12 V quel que soit le nombre ou le type d'accumulateurs à charger.
- possibilité de charger des accumulateurs Ni-Mh dont la tension totale n'excède pas 8.4 V (6 accumulateurs maximum en série). Il n'y a alors pas de détection de fin de charge, ce sont la durée forcément limitée de l'ensoleillement et la faible puissance du panneau solaire qui protégeront les accumulateurs de la surcharge.
- affichage de la tension et du courant de charge : bien pratique pour se rendre compte de l'état de charge des accumulateurs.
- intégration dans un boîtier récupéré sur un chargeur en panne : logement d'origine pour 4 accumulateurs LR6 et ajout d'un support pour un accumulateur Li-Ion Nikon D200
- connecteur USB en sortie pour la recharge de l'Hyperdrive Space.

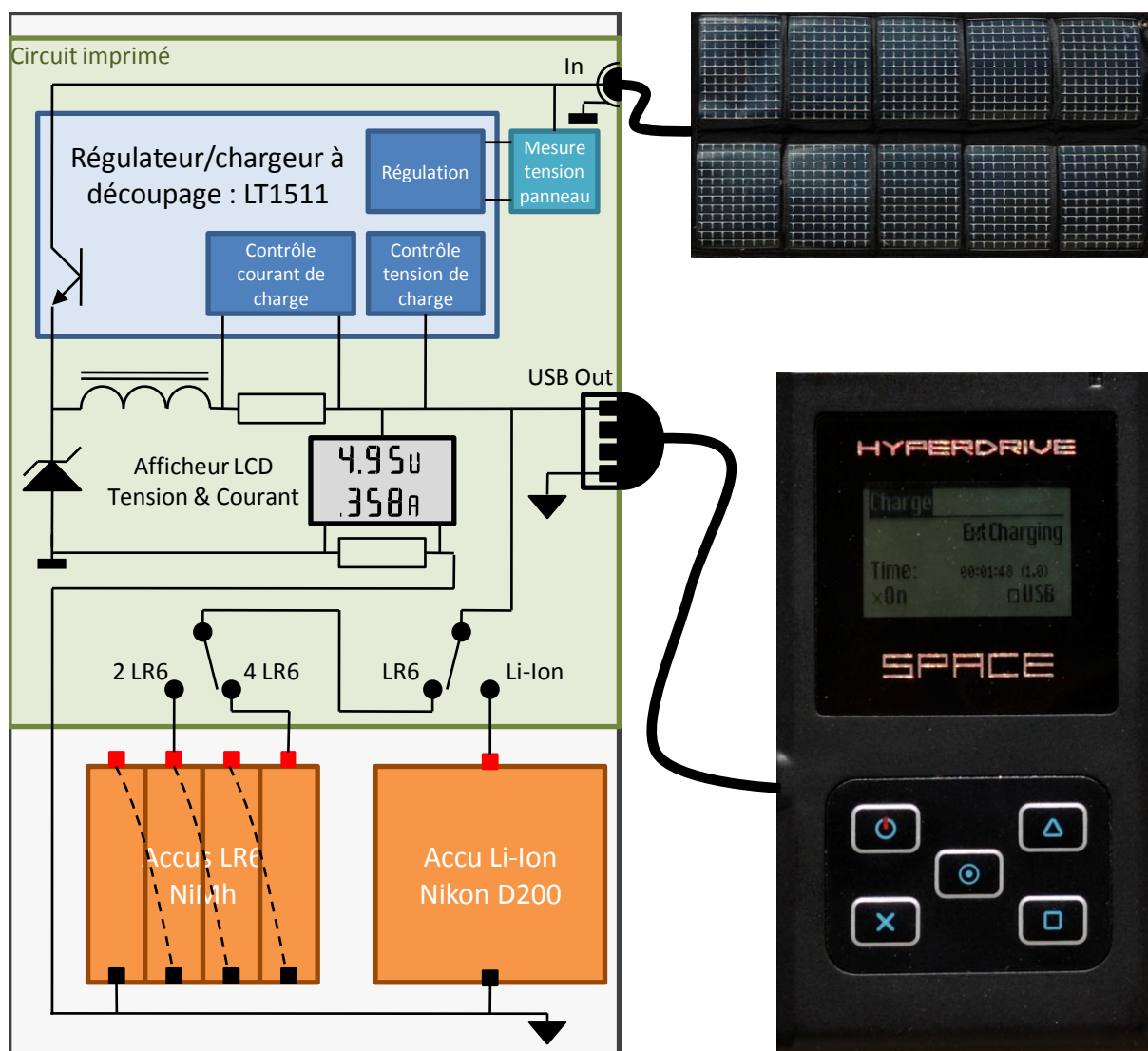


Figure 3 : Schéma synoptique du chargeur connecté au panneau solaire et au videur de carte

Le chargeur a été réalisé autour d'un régulateur à découpage Linear Technology LT1511 (<http://www.linear.com/>). Ce circuit intégré assure toutes les fonctions de contrôle de charge en tension et courant de tous types d'accumulateurs. Il lui suffit de quelques composants passifs pour définir les seuils de courant et tension de charge ainsi que le courant maximum absorbé. C'est cette dernière fonctionnalité qui a été détournée pour asservir la tension de sortie du panneau solaire à 12V.

L'affichage de la tension et du courant de charge sont confiés à un module voltmètre Lascar DPM 702S (<http://www.lascarelectronics.com/main/index.php?location=uk>).

Deux inverseurs permettent de choisir les accumulateurs à charger : Li-Ion ou LR6 ainsi que le nombre de LR6 (2 ou 4) quand ceux-ci sont sélectionnés par le premier inverseur.

La sortie du chargeur est disponible sur un connecteur USB. Lorsque 4 accumulateurs Ni-Mh sont en charge, ils jouent alors le rôle de régulateur en fournissant une tension d'environ 5V (4.5 à 6V) au videur de carte branché sur cette prise. On peut aussi y brancher tout type d'accessoire rechargeable sur un port USB (téléphone portable, PDA, MP3...).

Courant et tension de charge

La documentation du LT1511 détaille le calcul des composants pour le choix du courant et de la tension de charge. Notre chargeur étant prioritairement dédié à la charge des accumulateurs Li-Ion à 2 éléments, il a été choisi un courant de charge de 1A et une tension maximale de 8.4V.

Lors de la charge d'un accumulateur Li-Ion avec un panneau solaire, le courant maximal ne sera jamais atteint : cela représenterait une puissance de 8.4 W, bien au-delà de ce que peut fournir le panneau solaire. En revanche, c'est à peu près le courant que pourra fournir le chargeur à 2 éléments LR6 Ni-Mh : environ 3V de tension pour 1 A de courant de charge.

Même s'il est spécifiquement conçu pour être utilisé avec un panneau solaire, le chargeur peut fonctionner avec toute source de tension supérieure à 12 V (adaptateur mural, prise allume cigare sur auto...). Dans ce cas, lors de la charge d'accumulateurs Ni-Mh il n'y a pas de détection de fin de charge, et c'est à l'utilisateur à veiller à ne pas surcharger ses batteries, le courant de 1 A étant alors potentiellement destructeur.

Asservissement de la tension du panneau solaire

C'est la principale originalité de ce chargeur : au lieu de charger à courant constant, il ajuste en permanence le courant de charge pour que le panneau solaire fonctionne à son meilleur rendement, c'est-à-dire aux environs de 12 V : 11.7 V exactement, tension qui favorise les faibles éclaircissements, là où l'énergie est la plus précieuse.

Le LT1511 dispose d'une fonction de limitation du courant absorbé par le chargeur : un amplificateur différentiel mesure la tension aux bornes d'une résistance connectée sur l'alimentation du LT1511 et celui-ci réduit, si nécessaire, le courant de charge pour limiter cette chute de tension à 100mV. C'est cette fonction qui a été détournée pour assurer l'asservissement de la tension du panneau : l'amplificateur du LT1511 compare la tension du panneau solaire à une référence et le circuit ajuste le courant de charge pour que la tension du panneau solaire se maintienne à 11.7 V (cf. schéma électrique détaillé).

L'amplificateur du LT1511 ne fonctionne correctement que si ses entrées CLN et CLP sont à un niveau de tension supérieur à 7V. Une référence de tension de 2.5V (ADR381) est amplifiée (U5-A) pour fournir une référence de 8V sur l'entrée CLN du LT 1511. La tension de sortie de 11.7 V du panneau solaire est réduite à 7.9 V par un diviseur résistif, puis ramenée à 8.1V par un amplificateur inverseur (U5-A) fonctionnant autour de la référence de 8V.

Pour un courant de charge donné, s'il y a une baisse de l'éclaircissement du panneau, la tension de celui-ci va baisser en dessous de 11.7 V. La tension sur l'entrée CLP va monter au-delà de 8.1 V, le LT1511 diminuant alors le courant de charge jusqu'à ce que le panneau revienne à 11.7 V.

Affichage courant et tension de charge

Le module DPM 702S est un voltmètre à 2 entrées (200 mV pleine échelle) et double affichage.

- Une entrée mesure la tension de charge de l'accumulateur, un diviseur par cent ramenant les quelques Volts de l'accumulateur à quelques dizaines de mV acceptables par le module.
- L'autre entrée connectée à une résistance de 100 mΩ, mesure le courant de charge.

Le module peut être configuré pour afficher les unités (V, A) ainsi qu'un point décimal.

C'est l'élément le plus coûteux de cette réalisation, mais s'il est confortable de visualiser courant et tension de charge, le voltmètre n'est pas indispensable au fonctionnement du chargeur.

Circuit imprimé

Le circuit imprimé mesure 75 x 47.5 mm. Une face comporte le LT1511 et les principaux composants les plus volumineux : connecteurs, inductances, condensateurs chimiques ; l'autre face comporte l'amplificateur dédié à l'asservissement ainsi que l'afficheur. Le circuit imprimé seul revient, à l'unité, à une vingtaine d'Euros.

Montage

Il s'agit presque exclusivement de composants à montage en surface, un fer à souder fin est nécessaire ainsi qu'un peu de minutie...Le recto comporte les principaux composants (circuit intégré, connectique, inverseurs) ; le verso est essentiellement dédié à l'afficheur et à l'amplificateur de régulation de la tension du panneau solaire.

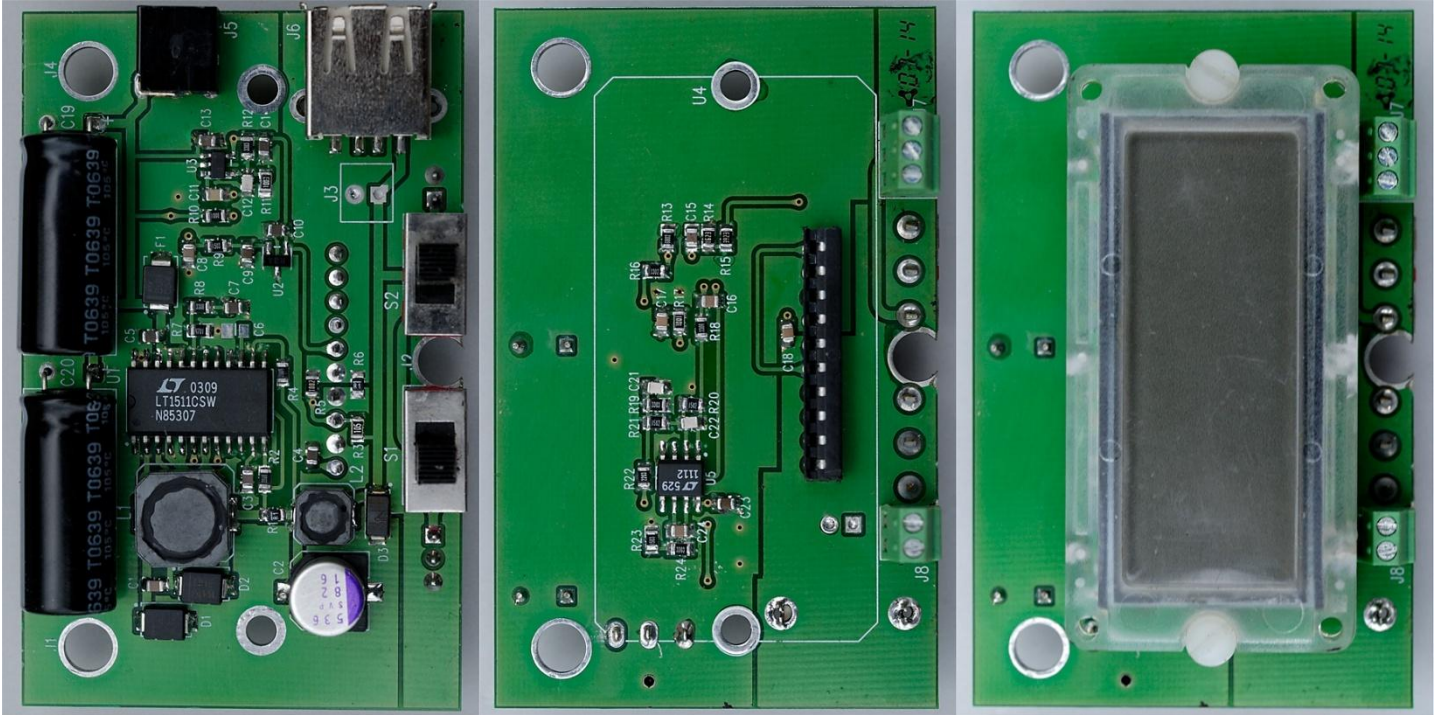


Figure 4 : Circuit imprimé monté, recto avec les principaux composants, verso sans et avec afficheur

Le circuit imprimé a été dimensionné pour être monté à l'intérieur du boîtier d'un chargeur d'accumulateurs Ni-Mh LR6 en panne à la place de l'électronique originale ; permettant ainsi de disposer du système de fixation des accumulateurs LR6 sur la face supérieure. Sur le même côté se trouvent les 2 inverseurs permettant de sélectionner les accumulateurs à recharger.

Le système de connexion de l'accumulateur Li-Ion et le cadre de l'afficheur ont été collés sur l'autre face du chargeur. C'est la plaque interchangeable spécifique Nikon EN-EL3 d'un chargeur multimarques qui sert à la connexion de l'accumulateur Li-Ion. Il s'agit du chargeur vendu à la boutique Chasseur d'Images (<http://www.chassimages.com>), les plaques seules valent 5 €. Le circuit imprimé pourrait également être installé à l'intérieur d'un petit boîtier plastique avec les accumulateurs LR6 reliés via un coupleur de piles standard.

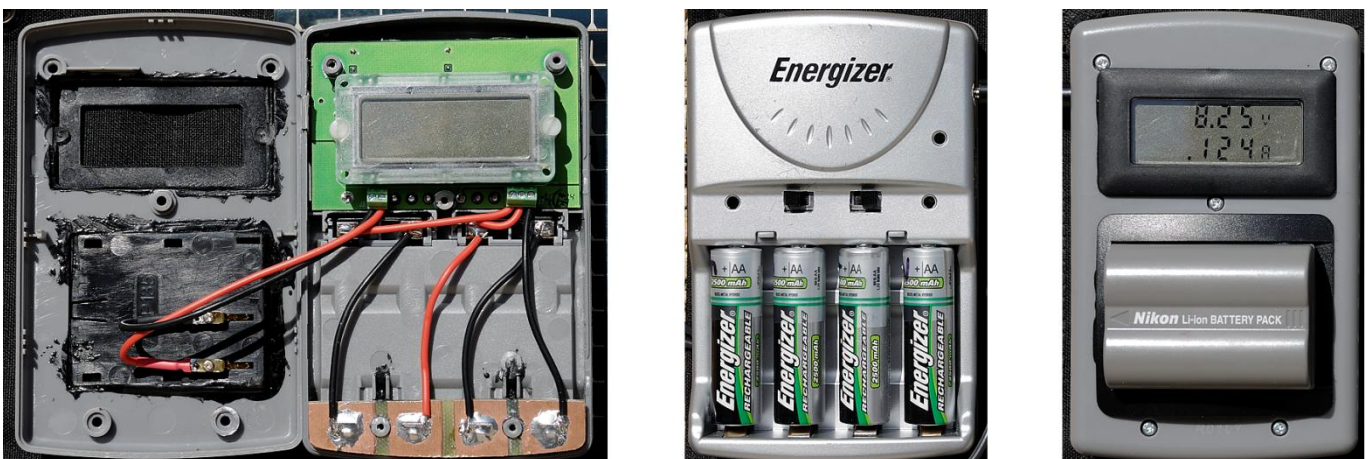


Figure 5 : Câblage interne, face avec les accumulateurs LR6, face avec l'afficheur et l'accumulateur Li-Ion

Mesures

Le rendement du convertisseur a été mesuré en fonction de la puissance disponible en sortie du panneau solaire pour les différents types d'accumulateurs utilisables (cf. figure 6).

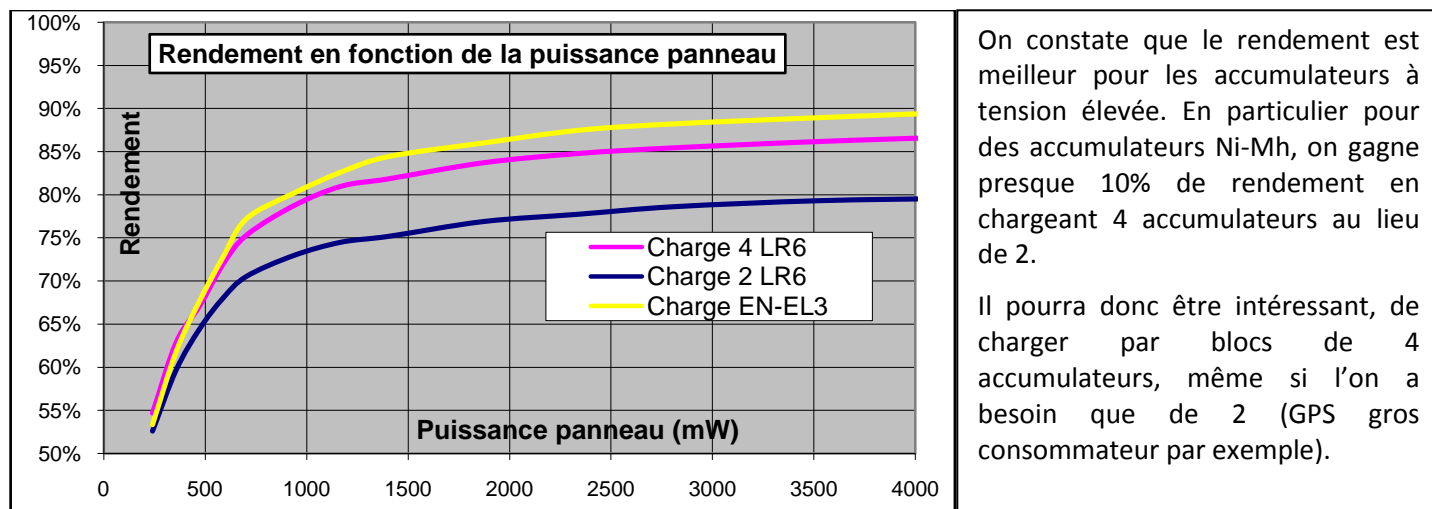


Figure 6 : Rendement du convertisseur en fonction de la puissance disponible en sortie du panneau solaire

Expérience terrain

Le poids total du boîtier chargeur est de 120 g, celui du panneau de 170 g.

Conçu au printemps 2006, ce chargeur a parfaitement fonctionné durant 2 étés sur des périodes de trekking de 3 semaines au Ladakh et au Pérou.

Un accumulateur Li-Ion de D200 permet environ 300 photos. Même en photographiant beaucoup, cela représente une autonomie de plusieurs jours. Une recharge de quelques dizaines de minutes à la pause de midi ou le soir suffisait à recharger l'accumulateur Li-Ion.

L'Hyperdrive Space dispose d'une autonomie de plus d'une semaine et une à deux recharges suffisent pour 1 mois.

En revanche le fonctionnement permanent d'un GPS enregistrant la trace de l'itinéraire utilise presque un jeu de deux accumulateurs LR6 par jour. Il est alors nécessaire de recharger les accumulateurs pendant la marche, avec le panneau solaire accroché au sac à dos.

Documents

Figure 7 : Nomenclature

Y figurent les références exactes des composants utilisés, ainsi que les codes commande auprès des distributeurs de composants Farnell (<http://fr.farnell.com/>) et Radiospares (<http://www.radiospares.fr/>).

Figure 8 : Schéma électrique détaillé

Figure 9 : Implantation des composants, recto

Figure 10 : Implantation des composants, verso

Figure 7 : Nomenclature

Qty	Reference	Description	Valeur	Tolerance	Fabricant	Radiospares / Farnell
1	U5	Precision Picoamp Input Op Amp	LT1112	S8	Linear Technology	Rs:371172 Fa:9560009
2	J3 J8	Bornier Phoenix MPT 0.5	MPT 0.5	2-2.54	Phoenix Contact	Rs:2204260
1	J7	Bornier Phoenix MPT 0.5	MPT 0.5	3-2.54	Phoenix Contact	Rs:2204276
6	C1 C8 C16-18 C24	Condensateur céramique X7R	330n	10% 25V	Epcos B37941	Fa:8805660
3	C3 C15 C22	Condensateur céramique COG/NPO	220p	5% 50V	Epcos B37940	Fa:9753605
1	C11	Condensateur céramique X7R	10n	10% 25V	Phycomp	Fa:3019767
3	C12 C6 C21	Condensateur céramique COG/NPO	10p	200V 5%	Murata	Fa:1294516
8	C9 C4-5 C13-14 C10 C23 C7	Ceramic Capacitor Y5V	2.2u	25V -20 +80 %	Murata GRM21	Fa:1118207 Rs:6242698
2	C19-20	Aluminium Electrolytic Capacitor	1000u	25V	Rubycon ZLH	Fa:8126437
1	C2	CONDENSATEUR électrolytique Sanyo SVP	82u	16V	Sanyo	16SVP82M Fa:9189041
1	U1	Battery Charger	LT1511	CSW	Linear Technology	Rs:5456846 Fa:1273762
1	J5	Embase Jack alimentation Type NES/J 135	1613 12		Lumberg	Rs:5051592
3	J1-2 J4	Trou de fixation				
1	J6	Embase femelle USB A	87583	2010BLF	FCI	Fa:1314363
2	D1-2	Diode schottky	10BQ	030	IR	Fa:9100687 Rs:5432430
1	D3	Diode Zener	10V	3W	Vishay BZG03C	Fa:9398082
1	L1	Inductance de puissance	10uH	B82464G4103M	Epcos	Fa:7429444
1	L2	Inductance de puissance	1uH	B82462G4102M	Epcos	Fa:7429967
1	U4	3 1/2 Digit Dual Channel LCD Module	DPM 702S		Lascar	Rs:3441195 Fa:9932674
1	F1	Transil unidirectionnelle	20V	SMBJ18A	ST Microelectronics	Rs:486-5081 Fa:9886150
1	U2	Precision Low-Drift 2.5 V Voltage Reference	ADR381	ARTZ	Analog Devices	Rs:5387740
1	U3	100mA Low Noise LDO Regulator	LT1761	ES5-BYP	Linear Technology	
2	R1 R6	Résistance couche métal	0.1	1%	Vishay WSL-0805	Fa:1107342
1	R3	Résistance couche métal 0.1%	1M	0.1%	Welwyn PCF0805	Fa:1160303
2	R4 R2	Résistance couche métal	200	1%	Vishay	CMS 0805
1	R5	Résistance couche métal 0.1%	10k	0.1%	Welwyn PCF0805	Fa:1160203
1	R7	Résistance couche métal	4.7k	1%	Vishay	CMS 0805
2	R8 R18	Résistance couche métal	330	1%	Vishay	CMS 0805
1	R10	Résistance couche métal	100	1%	Vishay	CMS 0805
1	R11	Résistance couche métal	100k	1%	Vishay	CMS 0805
3	R12 R19 R24	Résistance couche métal	330k	1%	Vishay	CMS 0805
1	R15	Résistance couche métal 0.1%	392k	0.1%	Welwyn PCF0805	Fa:1160287
1	R16	Résistance couche métal	33k	1%	Vishay	CMS 0805
1	R17	Résistance couche métal	1k	1%	Vishay	CMS 0805
2	R9 R23	Résistance couche métal	150k	1%	Vishay	CMS 0805
2	R20-21	Résistance couche métal	15k	1%	Vishay	CMS 0805
1	R22	Résistance couche métal	220k	1%	Vishay	CMS 0805
1	R13	Résistance couche métal	68k	1%	Vishay	CMS 0805
1	R14	Résistance couche métal 0.1%	162k	0.1%	Welwyn PCF0805	Fa:1160272
2	S1-2	Miniature Slide Switch	1101M2S3	CQE2	ITT C&K	Rs:1617340
Composants hors circuit imprimé						
		Fiche panneau solaire	NES/J135		Lumberg	Rs:5051542

Figure 8 : Schéma électrique détaillé

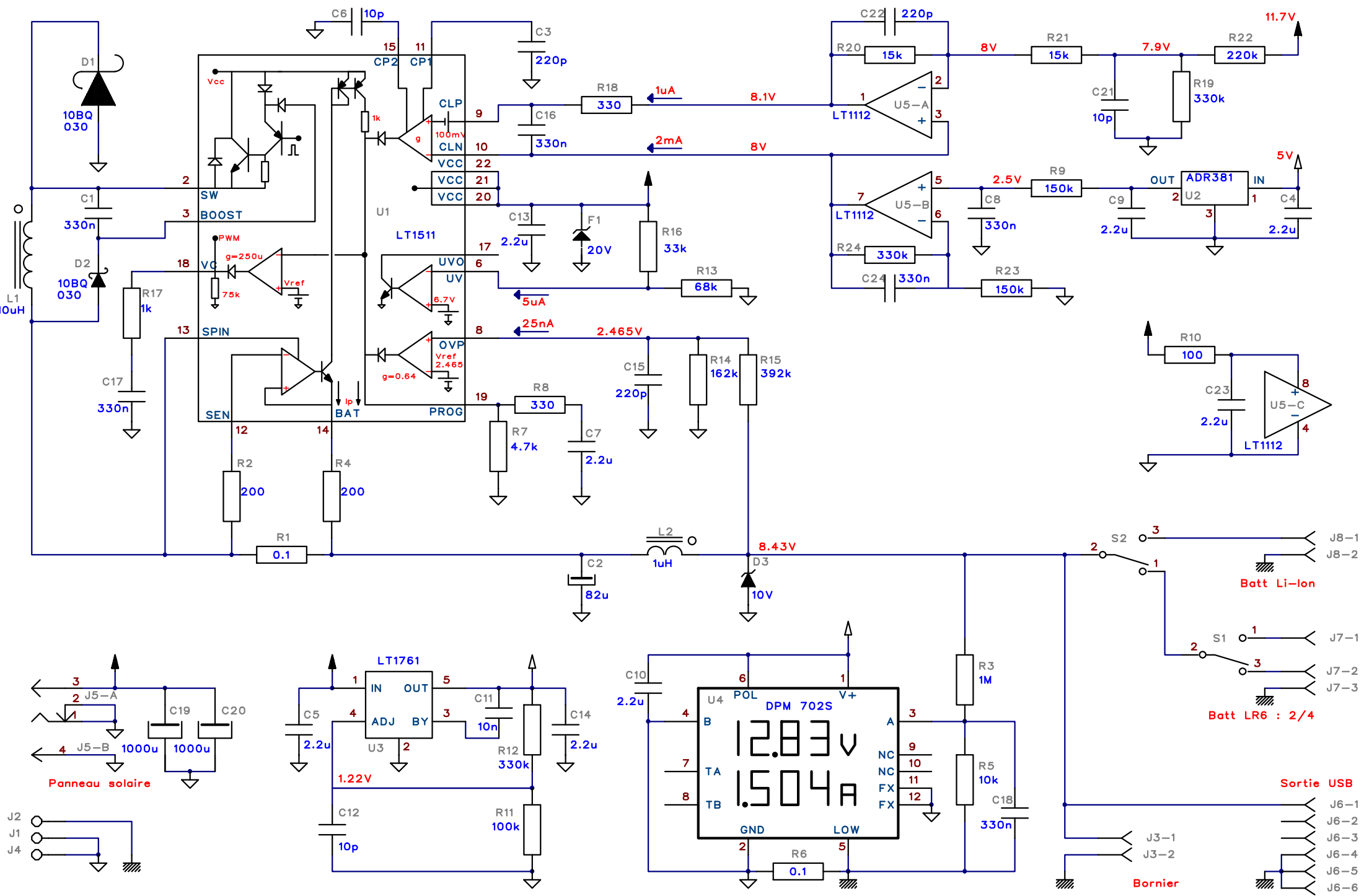


Figure 9 : Implantation composants, recto

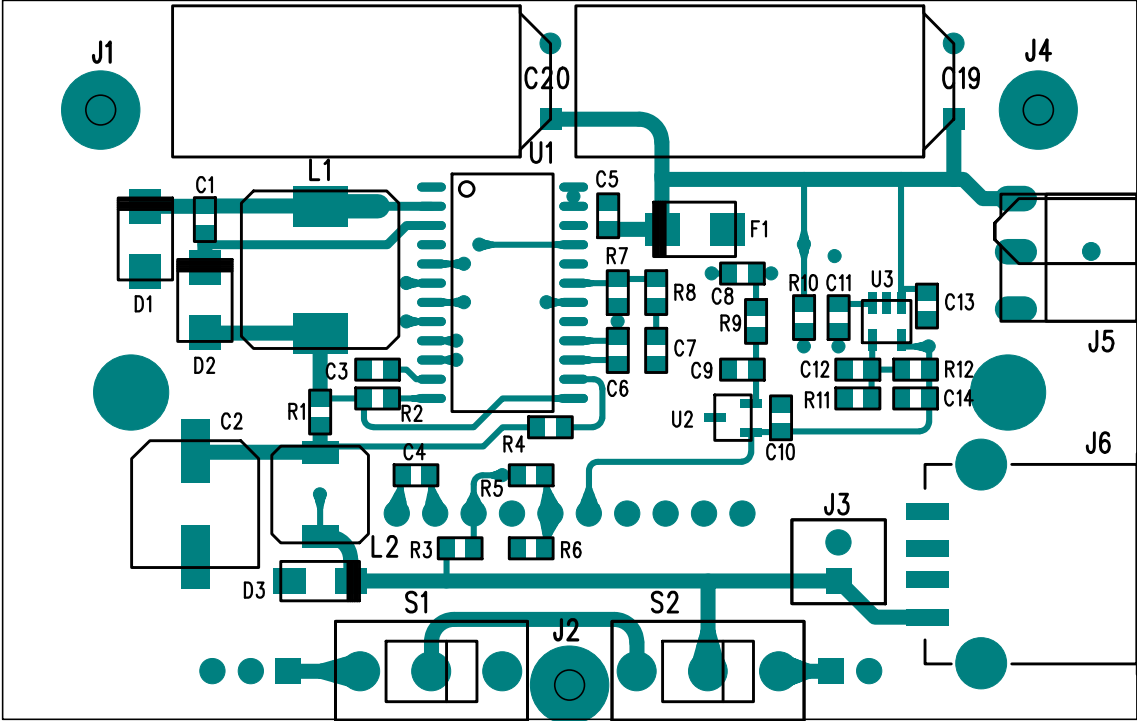


Figure 10 : Implantation composants, verso

