

Estimation du courant de ligne des chargeurs de batteries connectés sur le réseau 230V 50Hz.

Note d'Application EK006-FR – Juillet 2009

Thierry LEQUEU (a)

(a) thierry.lequeu@gmail.com – Tel : +33 (0)6 77 27 86 47 – Fax : +33 (0)2 47 36 71 06
Association e-Kart – 152, rue de Grandmont – 37550 SAINT AVERTIN – FRANCE

1 Résumé

La puissance des chargeurs de batteries de fortes puissances se trouve limitée par le courant efficace maximal disponible sur une prise « standard ». On s'intéresse ici à évaluer la valeur du courant de ligne des principaux chargeurs utilisés pour recharger les batteries des karts électriques. Pour ceci, on s'appuiera sur des mesures pour caractériser la source d'énergie et sur les simulations pour modéliser le chargeur. Les mesures des courants de lignes des chargeurs à leur point nominal permettent de valider l'approche théorique.

2 Introduction

La liste non exhaustive des chargeurs utilisés pour recharger les karts électriques est dressée afin d'en faire le bilan. On trouve :

- 1) des chargeurs 12V 07A, plutôt indiqués pour la charge d'entretien unitaire et utilisés pour leur faible coût (exemple le chargeur CTEK MXS 7000 ou GYSTECH 7000) ;
- 2) des chargeurs 12V 20A, pour une charge unitaire rapide et pour la charge d'entretien unitaire, ils ont un bon compromis puissance/coût (exemple le chargeur TECSUP PRENIUM 12V 20A) ;
- 3) des chargeurs 12V 25A, pour une charge unitaire plus rapide et pour la charge d'entretien unitaire, ils ont un bon compromis puissance/coût (exemple le chargeur CTEK MXS 25000) ;
- 4) des chargeurs 12V 40A, pour une charge unitaire rapide et pour la charge d'entretien unitaire (exemple le chargeur SPEEDOMAX DOLPHIN 12V 40A) ;
- 5) des chargeurs 12V 40A, pour une charge unitaire rapide et pour la charge d'entretien unitaire (exemple le chargeur GYS INVERTER 40 HF) ;
- 6) des chargeurs 30V 20A, pour la charge des batteries Lithium ACCUWATT ;
- 7) des chargeurs 24V 80A, pour une charge globale sans surveillance des tensions unitaires des batteries ;
- 8) des chargeurs 48V 10A, pour une charge globale sans surveillance des tensions unitaires des batteries ;
- 9) des chargeurs 48V 40A, pour une charge globale rapide sans surveillance des tensions unitaires des batteries, (exemple du chargeur ZIVAN K2 48V 40A) ;
- 10) des chargeurs 48V 40A, pour une charge globale rapide sans surveillance des tensions unitaires des batteries, (exemple du chargeur SPE 48V 40A avec correction du facteur de puissance) ;
- 11) des chargeurs 48V 50A, pour une charge globale rapide sans surveillance des tensions unitaires des batteries, à utiliser avec des circuits de surveillances individuelles des tensions des batteries (exemple du chargeur SPEEDOMAX DOLPHIN 48V 50A) ;
- 12) des chargeurs 48V 95A, pour une charge globale rapide sans surveillance des tensions unitaires des batteries, (exemple du chargeur triphasé ZIVAN NG5 48V 95A).

Tous ces chargeurs se connectent sur le réseau ERDF 230V 50Hz via une prise 16A. Les sections suivantes mettront en avant la limite de cette prise et les risque d'échauffement en cas d'utilisation prolongées (courant efficace de 20A et plus).

Afin d'encadrer correctement le problème, l'entrée et la sortie du chargeur seront étudiés, à savoir :

- l'étude du réseau fournira les éléments caractéristiques permettant une bonne modélisation de la source, comme la tension nominale, le contenu harmonique, et l'impédance interne de la source ;
- l'étude des batteries fournira les tensions et les puissances mise en jeu, ainsi que les temps d'utilisation de la puissance maximale.

L'étage de conversion d'énergie à l'entrée des chargeurs est un redresseur direct avec filtrage capacitif. Ce montage est étudié afin de connaître son Facteur de Puissance, ainsi que la forme du courant de ligne.

Les caractéristiques du courant permettent de faire le choix du disjoncteur de ligne.

3 Généralités

3.1 Le réseau électrique

3.1.1 Facteur de puissance

Le Facteur de Puissance FP est le rapport entre la puissance moyenne de sortie du redresseur (produit entre la tension moyenne V_e et le courant moyen I_e) et la puissance apparente coté alternatif (produit entre la tension efficace V_{1eff} et le courant efficace I_{1eff}).

$$FP = \frac{V_e \times I_e}{V_{1eff} \times I_{1eff}} \quad (1)$$

3.1.2 Cas d'une alimentation triphasée 400V

Dans l'hypothèse d'un réseau triphasé 400V, et pour des chargeurs dont les courants de ligne sont d'environ 20A, le tableau suivant donne les courants et les puissances mises en jeu en fonction du nombre de chargeurs utilisés simultanément.

Chargeurs par phase	Nb Total de chargeurs	Courant par phase en A	Puissance sous 220V en W	Puissance sous 230V en W	Puissance sous 240V en W
1	3	20	13 200	13 800	14 400
2	6	40	26 400	27 600	28 800
3	9	60	39 600	41 400	43 200
4	12	80	52 800	55 200	57 600
5	15	100	66 000	69 000	72 000
6	18	120	79 200	82 800	86 400

Fig. 1. Courant par phase et puissance en fonction du nombre de chargeurs (AN-Calculs.xls / Chargeurs).

3.2 Chutes de tension dans les conducteurs

La section des conducteurs en cuivre ou en aluminium impose le courant maximal qui traverse ce conducteur sans provoquer un échauffement excessif.

Dans le cas d'un conducteur cylindrique de diamètre de cuivre d_{cu} , de longueur L_{cu} , à une température θ en degrés Celsius et de résistivité $\rho_{cu}(\theta)$, la résistance électrique du fils conducteur est donnée par :

$$R(\theta) = \rho_{cu}(\theta) \times \frac{L_{cu}}{S_{cu}} \quad (2)$$

La résistivité du cuivre à $\theta_0 = 20^\circ C$ vaut $\rho_{cu}(20^\circ C) = \rho_0 = \frac{1}{58} = 0,0172 \mu\Omega \cdot m$ [18]. Le coefficient de température du cuivre vaut $\alpha = +0,0038 K^{-1}$ et on peut écrire :

$$\rho_{cu}(\theta) = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (\theta - \theta_0)) \quad (3)$$

La résistivité du cuivre à $100^\circ C$ vaut alors $\rho_{cu}(100^\circ C) = \frac{1}{58} (1 + 0,0038 \cdot (100 - 20)) = 0,0225 \mu\Omega \cdot m$.

Pour les câbles d'alimentations à 50 Hz, les pertes dans les conducteurs sont constituées, essentiellement de pertes par effet Joule, qui s'écrivent :

$$P_{cu} = R \times I_{eff}^2 = \rho_{cu} \cdot \frac{L_{cu}}{S_{cu}} \cdot I_{eff}^2 \quad (4)$$

On s'intéressera également à la chute de tension en ligne, définie par :

$$\Delta U = |U_{vide} - U_{charge}| = R \times I \quad (5)$$

A partir de l'expression de la densité de courant δ (en A/mm²) défini par :

$$\delta = \frac{I_{eff}}{s_{cu}} \quad (6)$$

On peut exprimer la chute de tension par la relation suivante :

$$\Delta U = R \times I = \rho_{cu}(\theta) \times \frac{L_{cu}}{s_{cu}} \times I = \rho_{cu}(\theta) \times L_{cu} \times \delta \quad (7)$$

Dès que l'on fixe la densité de courant, la chute de tension devient une constante dépendante de la température et de la longueur du câble. Le tableau suivante précise cette valeur.

δ	5A/mm ²	10A/mm ²	50A/mm ²	100A/mm ²
ΔU	96,03 mV	192,1 mV	960,3 mV	1920,7 mV

Fig. 2. Calcul de la chute de tension (en mV) en fonction de la densité de δ (en A/mm²) , pour une température de 50°C (AN-Calculs.xls / Cuivre).

A partir de la densité de courant δ , on peut calculer la valeur maximale du courant $I_{eff\ max}$ que l'on peut faire circuler dans le câble :

$$I_{eff} = \delta \times s_{cu} \quad (8)$$

	1mm ²	1,5mm ²	2,5mm ²	4 mm ²	6 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²	50 mm ²
5A/mm ²	5	7,5	12,5	20	30	50	80	125	175	250
10A/mm ²	10	15	25	40	60	100	160	250	350	500
50A/mm ²	50	75	125	200	300	500	800	1250	1750	2500
100A/mm ²	100	150	250	400	600	1000	1600	2500	3500	5000

Fig. 3. Calcul du courant maximum (en A) en fonction de la section de cuivre (en mm²) , pour différente valeur de la densité de δ (en A/mm²) (Cuivre-2009-07.xls).

Remarque :

Pour des fils de cuivre en extérieure, (bonne dissipation) et pour des durées d'utilisation courte (10-15 minutes), une densité de courant de 10 A/mm² peut être acceptable.

On peut également calculer la puissance maximale dissipée par le câble :

$$p_{cu} = R \times I_{eff}^2 = \rho_{cu} \cdot \frac{L_{cu}}{s_{cu}} \cdot I_{eff}^2 = \rho_{cu} \cdot \frac{L_{cu}}{s_{cu}} \cdot (\delta \cdot s_{cu})^2 = \rho_{cu} \cdot L_{cu} \cdot s_{cu} \cdot \delta^2 \quad (9)$$

	1mm ²	1,5mm ²	2,5mm ²	4 mm ²	6 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²	50 mm ²
5A/mm ²	0,480	0,720	1,200	1,921	2,881	4,802	7,683	12,00	16,81	24,01
10A/mm ²	1,921	2,881	4,802	7,683	11,52	19,21	30,73	48,02	67,22	96,03
50A/mm ²	48,02	72,03	120,0	192,1	288,1	480,2	768,3	1200	1681	2401
100A/mm ²	192,1	288,1	480,2	768,3	1152	1921	3073	4802	6722	9603

Fig. 4. Calcul de la puissance dissipée maximale (en W par mètre) en fonction de la section de cuivre (en mm²) , pour différente valeur de la densité de δ (en A/mm²) , pour une température de 50°C (Cuivre-2009-07.xls).

Remarque :

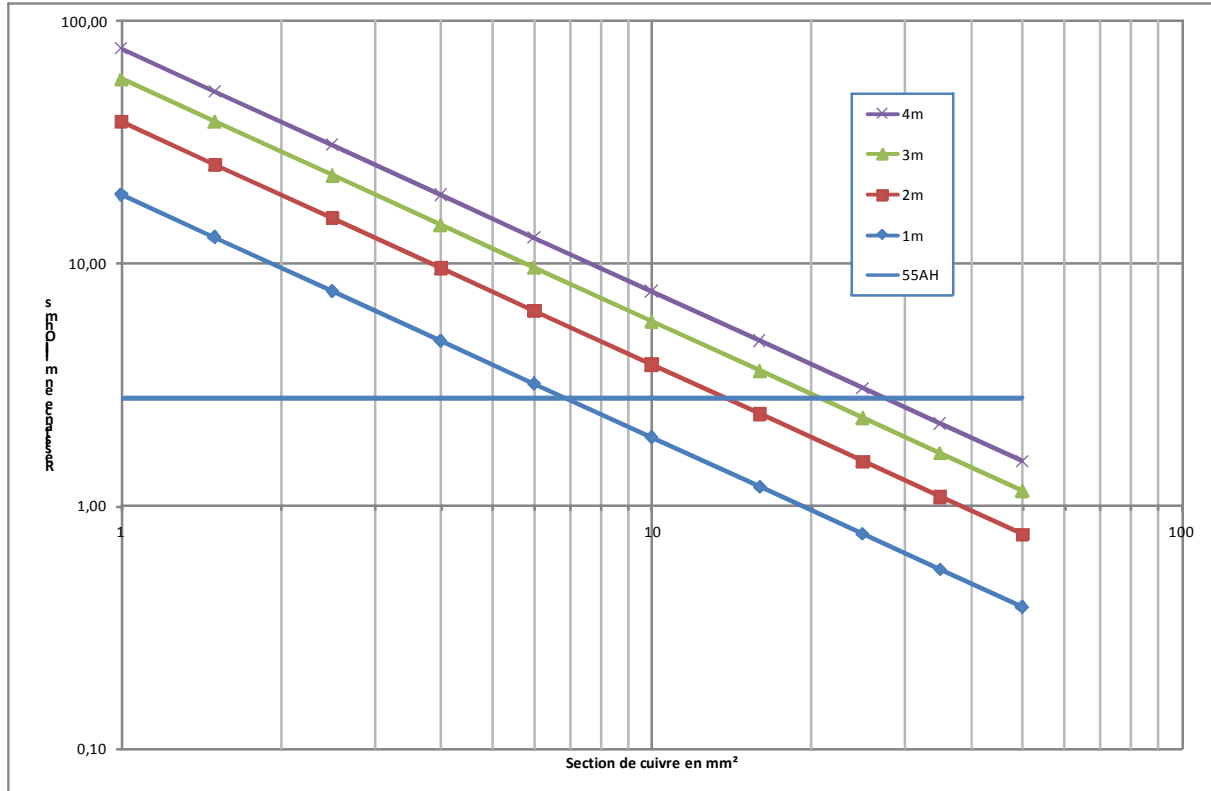
Pour 10 A/mm², la puissance dissipée est d'environ 100 W par mètre pour du câble de 50 mm² à 50°C.

Pour 5 A/mm², la puissance dissipée est d'environ 25 W par mètre pour du câble de 50 mm² à 50°C.

3.2.1 Variation de la résistance

La température est fixée à 50°C. La résistivité vaut alors $\rho_{cu}(50^{\circ}\text{C}) = 0,01921 \mu\Omega \cdot \text{m}$.

$$R(\theta) = \rho_{cu}(\theta) \times \frac{L_{cu}}{s_{cu}} \quad (10)$$



	1 mm ²	1,5 mm ²	2,5 mm ²	4 mm ²	6 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²	50 mm ²
1m	19,21	12,80	7,683	4,802	3,201	1,921	1,200	0,768	0,549	0,384
2m	38,41	25,61	15,37	9,60	6,402	3,841	2,401	1,537	1,098	0,768
3m	57,62	38,41	23,05	14,41	9,60	5,762	3,601	2,305	1,646	1,152
4m	76,83	51,22	30,73	19,21	12,80	7,683	4,802	3,073	2,195	1,537
5m	96,03	64,02	38,41	24,01	16,01	9,60	6,002	3,841	2,744	1,921

Fig. 5. Variation de la résistance du conducteur (en mΩ) en fonction de sa section (en mm²) pour différente longueur de câble (en m), pour une température de 50°C (Cuivre-2009-07.xls).

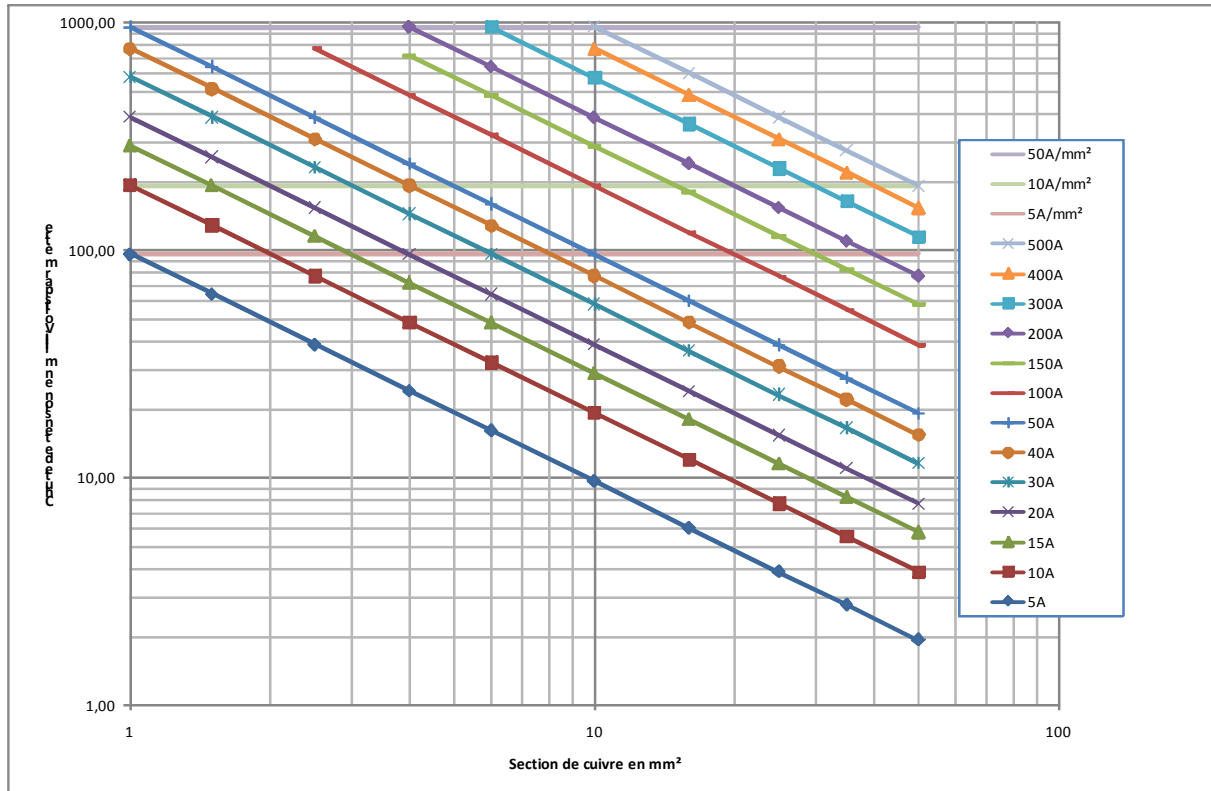
Remarques :

La résistance interne d'une batterie OPTIMA JAUNE 12V 55AH complètement chargée vaut 0,0028 Ω.

3.2.2 Variation de la chute de tension

Pour l'étude de la chute de tension, on fixe la longueur de câble à 1 mètre, la température étant toujours de 50°C. On limite les calculs à une chute de tension de 1 V par mètre de câble.

$$\Delta U = |U_{vide} - U_{charge}| = R \times I = \rho_{cu}(\theta) \times \frac{L_{cu}}{s_{cu}} \times I \quad (11)$$



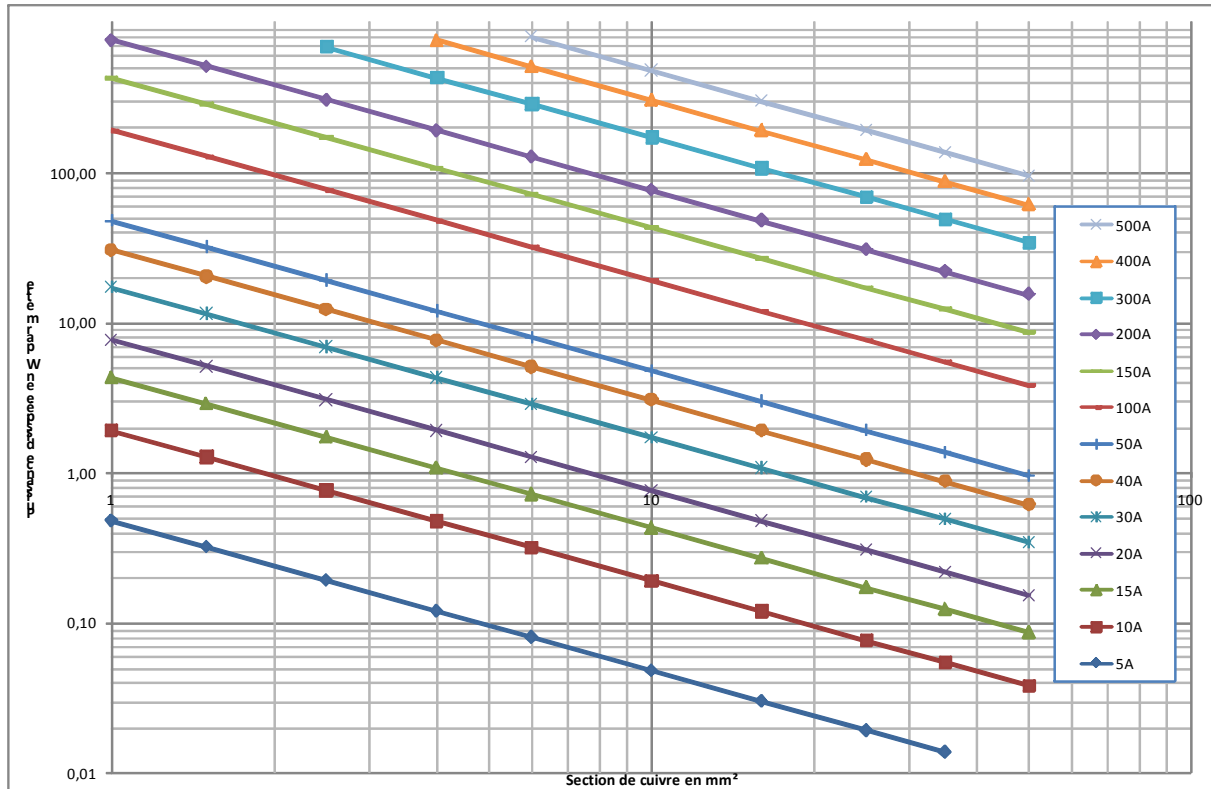
	1 mm ²	1,5 mm ²	2,5 mm ²	4 mm ²	6 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²	50 mm ²
5A	96,03	64,02	38,41	24,01	16,01	9,603	6,002	3,841	2,744	1,921
10A	192,1	128,0	76,8	48,0	32,0	19,21	12,00	7,683	5,488	3,841
15A	288,1	192,1	115,2	72,0	48,0	28,81	18,01	11,52	8,232	5,762
20A	384,1	256,1	153,7	96,0	64,0	38,41	24,01	15,37	10,98	7,683
30A	576,2	384,1	230,5	144,1	96,0	57,62	36,01	23,05	16,46	11,52
40A	768,3	512,2	307,3	192,1	128,0	76,83	48,02	30,73	21,95	15,37
50A	960,3	640,2	384,1	240,1	160,1	96,03	60,02	38,41	27,44	19,21
100A			768,3	480,2	320,1	192,1	120,0	76,8	54,9	38,4
150A				720,3	480,2	288,1	180,1	115,2	82,3	57,6
200A				960,3	640,2	384,1	240,1	153,7	109,8	76,8
300A					960,3	576,2	360,1	230,5	164,6	115,2
400A						768,3	480,2	307,3	219,5	153,7
500A						960,3	600,2	384,1	274,4	192,1

Fig. 6. Chute de tension aux bornes du conducteur (en mV) en fonction de sa section (en mm²) pour différente valeur de courant (en A), pour une température de 50°C (Cuivre-2009-07.xls).

3.2.3 Variation de la puissance

Pour l'étude des pertes par effets Joules, on fixe la longueur de câble à 1 mètre, la température étant toujours de 50°C.

$$p_{cu} = R \times I_{eff}^2 = \rho_{cu} \cdot \frac{L_{cu}}{S_{cu}} \cdot I_{eff}^2 \quad (12)$$



	1 mm ²	1,5 mm ²	2,5 mm ²	4 mm ²	6 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²	50 mm ²
5A	0,480	0,320	0,192	0,120	0,080	0,048	0,030	0,019	0,014	
10A	1,921	1,280	0,768	0,480	0,320	0,192	0,120	0,077	0,055	0,038
15A	4,322	2,881	1,729	1,080	0,720	0,432	0,270	0,173	0,123	0,086
20A	7,683	5,122	3,073	1,921	1,280	0,768	0,480	0,307	0,220	0,154
30A	17,29	11,52	6,914	4,322	2,881	1,729	1,080	0,691	0,494	0,346
40A	30,73	20,49	12,29	7,683	5,122	3,073	1,921	1,229	0,878	0,615
50A	48,02	32,01	19,21	12,00	8,003	4,802	3,001	1,921	1,372	0,960
100A	192,07	128,05	76,83	48,02	32,01	19,21	12,00	7,683	5,488	3,841
150A	432,16	288,10	172,86	108,04	72,03	43,22	27,01	17,29	12,35	8,643
200A	768,28	512,18	307,31	192,07	128,05	76,83	48,02	30,73	21,95	15,37
300A			691,45	432,16	288,10	172,86	108,04	69,14	49,39	34,57
400A				768,28	512,18	307,31	192,07	122,92	87,80	61,46
500A					800,29	480,17	300,11	192,07	137,19	96,03

Fig. 7. Puissance dissipée dans le conducteur (en W) en fonction de sa section (en mm²) pour différente valeur de courant (en A), pour une température de 50°C (Cuivre-2009-07.xls).

3.3 Les batteries au plomb OPTIMA

La société CENTRADIS distribue en France les batteries OPTIMA [4]. Par exemple, la batterie OPTIMA JAUNE 12 V 48 AH 3,7 L 16,7 kg dispose d'un courant de démarrage de 660 A (souvent 900 A mesurée) et une possibilité de charge jusqu'à 300A (d'après le constructeur).



Fig. 8. Les batteries OPTIMA JAUNE 12V 48AH 3,7 L 16,7 kg, source CENTRADIS [4].

Le couple Plomb Acide dispose d'un potentiel de 2,1 V [15][16]. Cette tension dépend fortement de la température. A cela il faut ajouter les chutes de tension dues aux résistances internes de la batterie et aux connexions externes. La tension aux bornes d'une batterie OPTIMA JAUNE peut varier de 10 V, batterie complètement déchargée, à 16 V lorsque la batterie est en charge avec des courants importants.

La capacité donnée en AH dépend également du courant de décharge et de la température. La batterie OPTIMA JAUNE 55 AH a une capacité de réserve de 2h00 pour un courant de décharge de 25 A [14]. Même si cette technologie est robuste vis-à-vis des décharges profondes (100% de décharge pour une tension de 10,5 V), les décharges importantes réduisent considérablement la durée de vie en réduisant la capacité de la batterie et par augmentation des résistances internes.

Un taux de décharge de 10 à 20 % est conseillé, suivi d'une recharge rapide. En effet, il ne faut pas laisser le temps à la réaction chimique de « reconstituer le potentiel électrique », car cette étape « consomme » les plaques de plomb.

3.4 La simulation avec SIMCAD

Les paramètres de la simulation avec SIMCAD Demo Version 7.1 [2] sont communs à l'ensemble des simulations à savoir :

- Un pas de calcul de 1 μ s, compatible avec les constantes de temps des inductances de ligne de quelques μ H ;
- Une durée globale de simulation de 100 ms, afin d'atteindre le régime permanent ;
- Un temps de démarrage de l'enregistrement de 60 ms afin d'avoir 3 périodes de régime transitoire et 2 période d'affichage ;
- Un enregistrement d'un point sur 10 pour respecter la limite des 6000 points maximum autorisé dans la version de démonstration [2].



Fig. 9. Réglage des paramètres de la simulation SIMCAD Demo Version 7.1 [2].

3.5 Qualité de la tension secteur

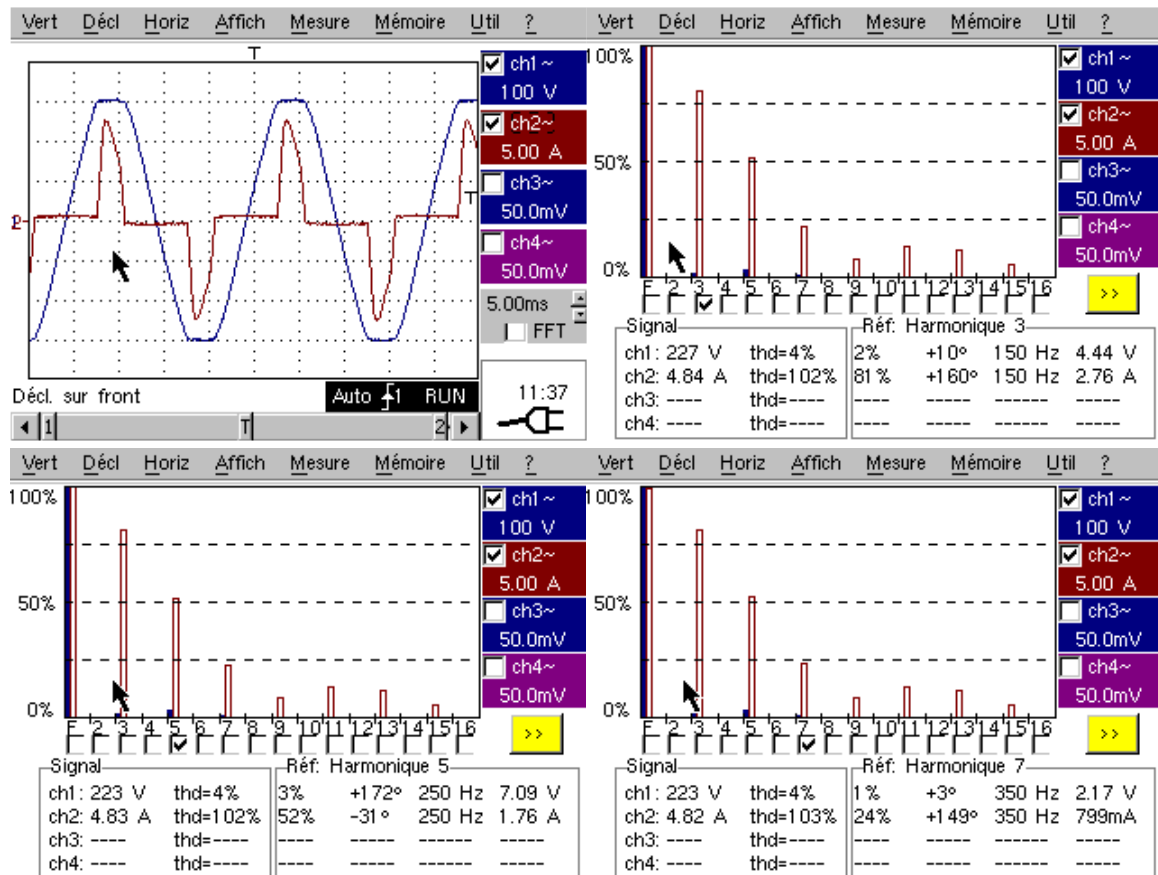


Fig. 10. Spectre harmonique de la tension secteur (6 mai 2009).

Les caractéristiques de la tension secteur sont les suivantes :

- Valeur efficace $V_e = 230V$;
- 2% d'harmonique de rang 3 : $V_{3eff} = 4,44V$ soit $\hat{V}_3 = 6,3V$ en phase (pas négligeable...) ;
- 3% d'harmonique de rang 5 : $V_{5eff} = 7,09V$ soit $\hat{V}_5 = 10V$ en opposition de phase ;
- 1% d'harmonique de rang 7 : $V_{7eff} = 2,17V$ soit $\hat{V}_7 = 3,0V$ en phase (négligeable...) ;

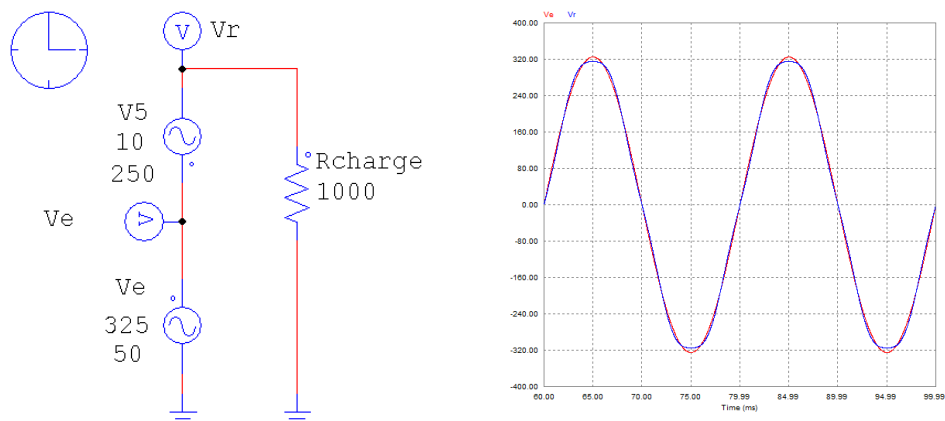


Fig. 11. Modèle adopté pour la simulation Simcad.

3.6 Les disjoncteurs

Les informations qui suivent sont issues du site web : <http://stielec.ac-aix-marseille.fr/cours/abati/disj.htm>

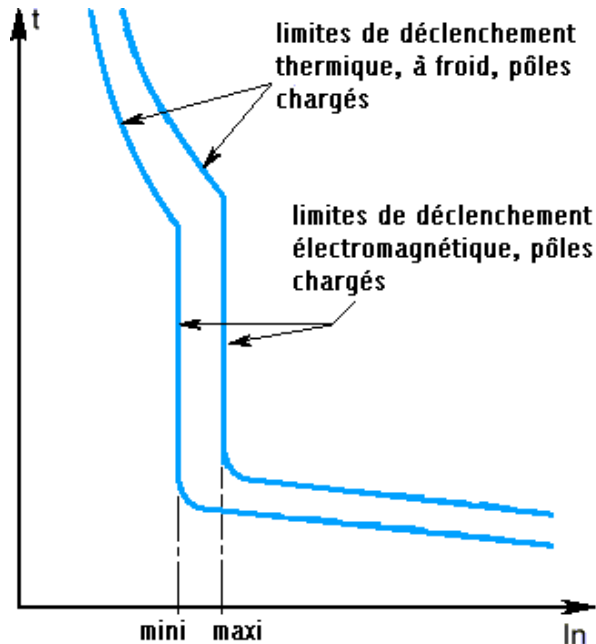


Fig. 12. Les courbes de déclenchement des disjoncteurs magnétothermiques.

Type de courbe	Réglage du déclencheur magnétique selon CEI 947.2		Application
	mini	maxi	
B	3,2 In	4,8 In	grandes longueurs de câbles
C	7 In	10 In	récepteurs classiques
D ou K	10 In	14 In	fort appel de courant
MA	12 In		démarrreur de moteur
Z	2,4 In	3,6 In	électronique

Fig. 13. Réglage du déclencheur magnétique.

4 Les chargeurs

N°	Fabricant	Type	Tension	Courant	Mode	I	U	Ufloat	Poids
01	CTEK	MXS 7000	12V	07A	I-U	07A	14,4V	13,8V	
02	TECSUP	PRENIUM	12V	20A	I-U				2 kg
03	CTEK	MXS 25000	12V	25A	I-U	25A			
04	DOLPHIN	12-40	12V	40A					
05	GYS	12-40	12V	40A					
06	Excelsys	XCB 30V-20A	30V	20A					
07	ZIVAN	NG3 24V 80A	24V	80A	IUIa/WUIa				
08	ATIB	HFXR-D 48/10	12V	40A					
09	ZIVAN	K2 48-40	48V	40A	UIO				
10	RAMTONIC	48-40	48V	40A					
11	SPEEDOMAX	48-50	48V	50A					
12	ZIVAN	NG5 48V 95A	48V	95A	IUIa/WUIa				

Fig. 14. Caractéristiques principales des chargeurs étudiés.

4.1 Chargeur 12V 07A – CTEK MXS 7000

Le modèle présenté ici est un chargeur de marque CTEK modèle MXS 7000, 12V 07A [3].



Fig. 15. Le chargeur CTEK MXS-7000 pour les batteries au plomb, distribué par CENTRADIS [3][4].

Avec V_s la tension aux bornes de la batterie et I_s le courant de sortie du chargeur, la puissance de sortie vaut :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (1)$$

A partir de l'expression du rendement du convertisseur $\eta = \frac{P_s}{P_e}$, la valeur du courant d'entrée est donnée par :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (2)$$

Le tableau suivant présente les différentes puissances mises en jeux pour une batterie, ainsi que le courant équivalent coté redresseur haute tension.

Tension	Courant	Puissance	Rendement	Haute tension	Courant
V_s en V	I_s en A	P_s en W	en %	V_e en V	I_e en A
13,6	7	95,2	90%	292	0,362
14,2	7	99,4	90%	292	0,378
15	7	105	90%	292	0,400
16	7	112	90%	292	0,426

Fig. 16. Puissance transmise et courant d'entrée du convertisseur 12V 07A (AN-Calculs.xls / Batteries).

En fixant l'ondulation aux bornes du condensateur de filtrage d'entrée, la valeur du condensateur se calcule à partir de l'expression suivante :

$$C_e = \frac{I_e}{2 \times F \times \Delta V_e} \quad (3)$$

avec $F = 50$ Hz la fréquence du réseau d'alimentation électrique.

Haute tension	Ondulation	Ondulation	Courant	Condensateur
V_e en V	en %	ΔV_e en V	I_e en A	C_e en μF
292	10%	29,200	0,362	124
292	10%	29,200	0,378	130
292	10%	29,200	0,400	137
292	10%	29,200	0,426	146

Fig. 17. Valeur du condensateur d'entrée du convertisseur 12V 07A (AN-Calculs.xls / Batteries).

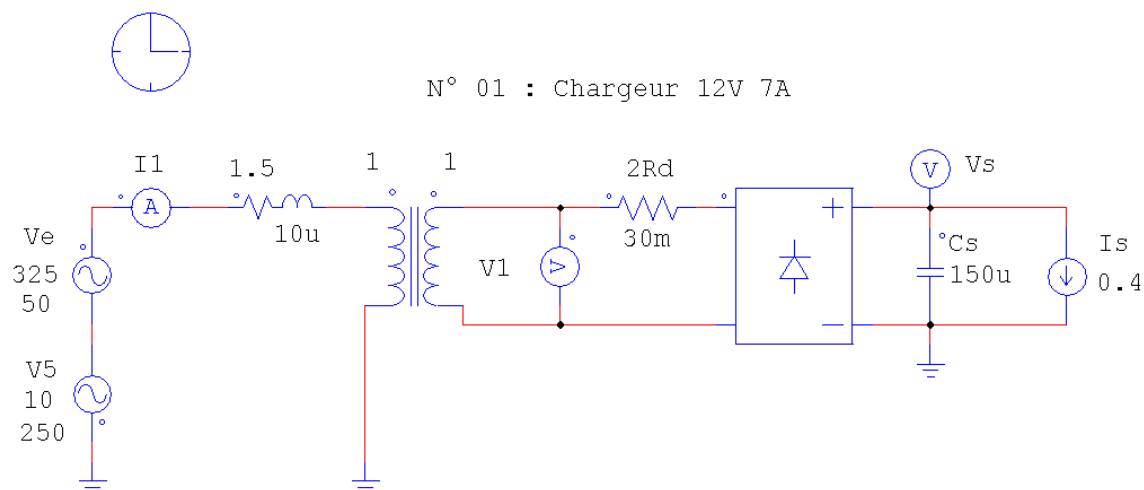


Fig. 18. Le schéma de la simulation SIMCAD pour un chargeur 12V 07A (RED-230V-1.sch).

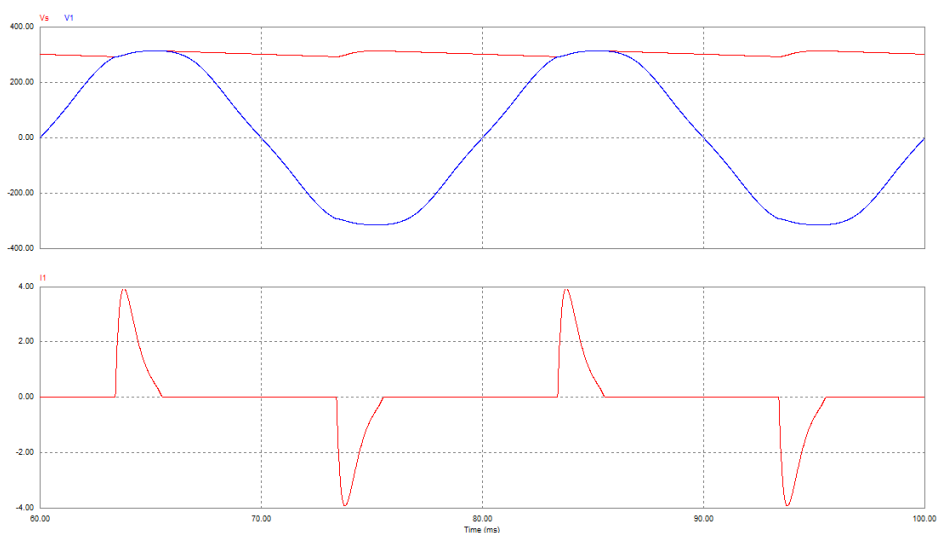


Fig. 19. Résultats de la simulation SIMCAD pour un chargeur 12V 07A (RED-230V-1.sch).

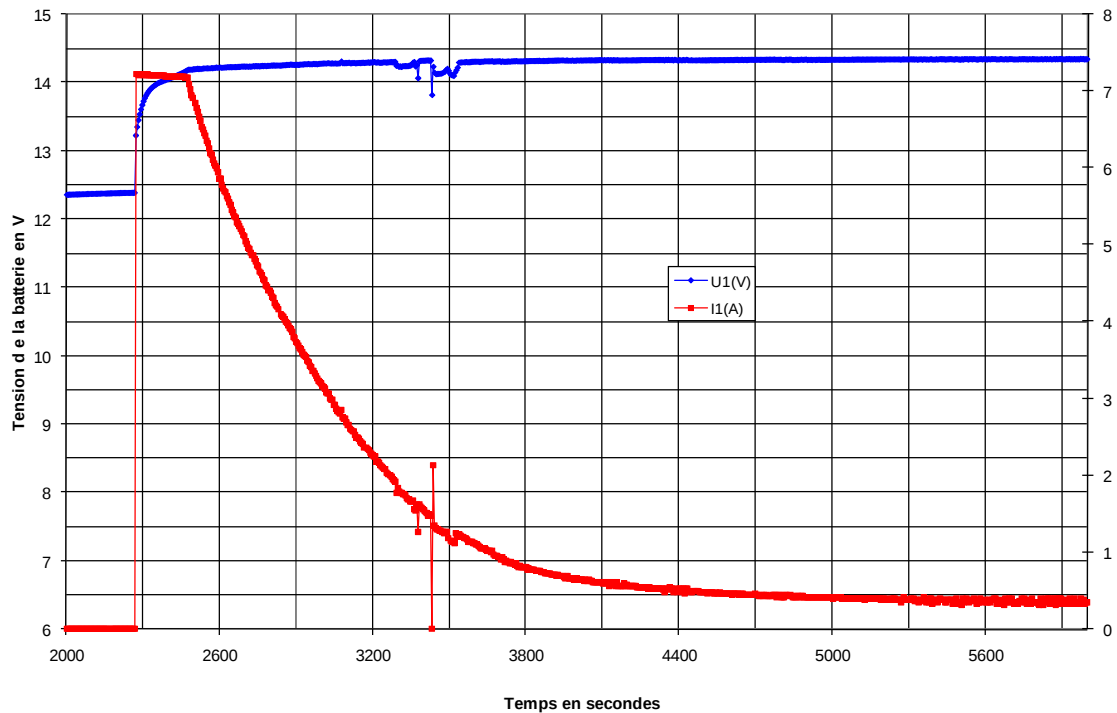


Fig. 20. Courbes de charges du chargeur 12V 07A (CTEK-MXS-7000-6.xls).

Fig. 21. Tension secteur et courant de ligne du chargeur 12V 07A (CTEK-MXS-7000-6.xls).

	Tension efficace	Haute tension	Condensateur	Courant	Courant efficace	Courant maximal	Durée de conduction	Facteur de puissance
	V_{1eff} en V	V_e en V	C_e en μF	I_e en A	I_{1eff} en A	I_{1max} en A	ΔT en ms	FP
Théorique	230,0	292	137	0,400				
Simulée	229,1	304	150	0,400	1,049	3,910	2,1	0,506
Mesurée	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx

Fig. 22. Synthèse des mesures pour un chargeur 12V 07A.

4.2 Chargeur 12V 20A – Tecsap Premium 12V 20A

Le modèle présenté ici est un chargeur de marque Tecsap Premium, 12V 20A [5].



Fig. 23. Le chargeur Tecsap Premium 12V 20A [5].

Avec V_s la tension aux bornes de la batterie et I_s le courant de sortie du chargeur, la puissance de sortie vaut :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (4)$$

A partir de l'expression du rendement du convertisseur $\eta = \frac{P_s}{P_e}$, la valeur du courant d'entrée est donnée par :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (5)$$

Le tableau suivant présente les différentes puissances mises en jeu pour une batterie, ainsi que le courant équivalent coté redresseur haute tension.

Tension	Courant	Puissance	Rendement	Haute tension	Courant
V_s en V	I_s en A	P_s en W	en %	V_e en V	I_e en A
13,6	20	272	90%	304	0,994
14,2	20	284	90%	304	1,038
15	20	300	90%	304	1,096
16	20	320	90%	304	1,170

Fig. 24. Puissance transmise et courant d'entrée du convertisseur 12V 20A (AN-Calculs.xls / Batteries).

En fixant l'ondulation aux bornes du condensateur de filtrage d'entrée, la valeur du condensateur se calcule à partir de l'expression suivante :

$$C_e = \frac{I_e}{2 \times F \times \Delta V_e} \quad (6)$$

avec $F = 50$ Hz la fréquence du réseau d'alimentation électrique.

Haute tension	Ondulation	Ondulation	Courant	Condensateur
V_e en V	en %	ΔV_e en V	I_e en A	C_e en μF
304	10%	30,4	0,994	327
304	10%	30,4	1,038	341
304	10%	30,4	1,096	361
304	10%	30,4	1,170	385

Fig. 25. Valeur du condensateur d'entrée du convertisseur 12V 20A (AN-Calculs.xls / Batteries).

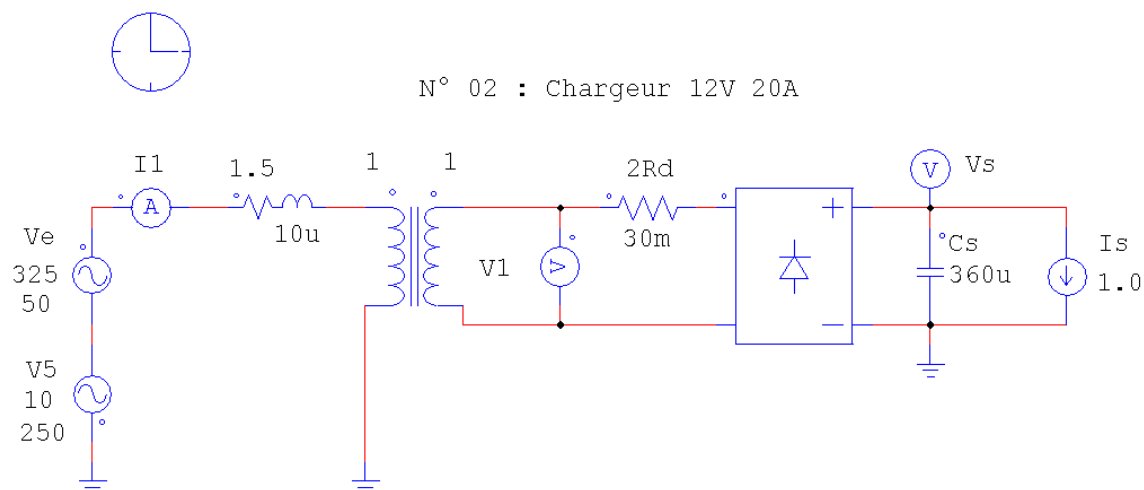


Fig. 26. Le schéma de la simulation SIMCAD pour un chargeur 12V 20A.

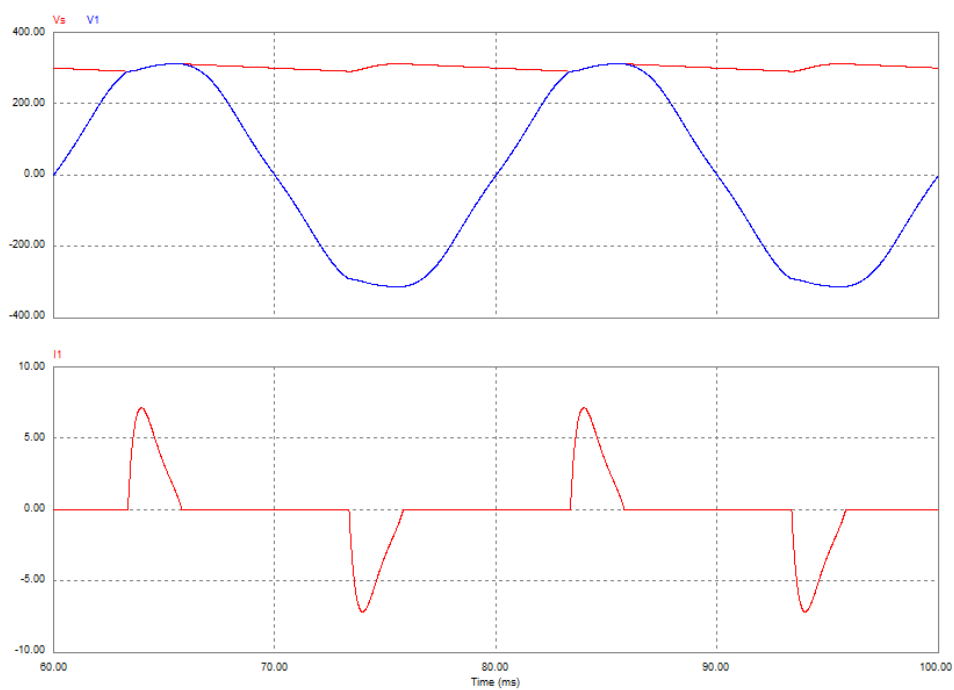


Fig. 27. Résultats de la simulation SIMCAD pour un chargeur 12V 20A.

Date : ???

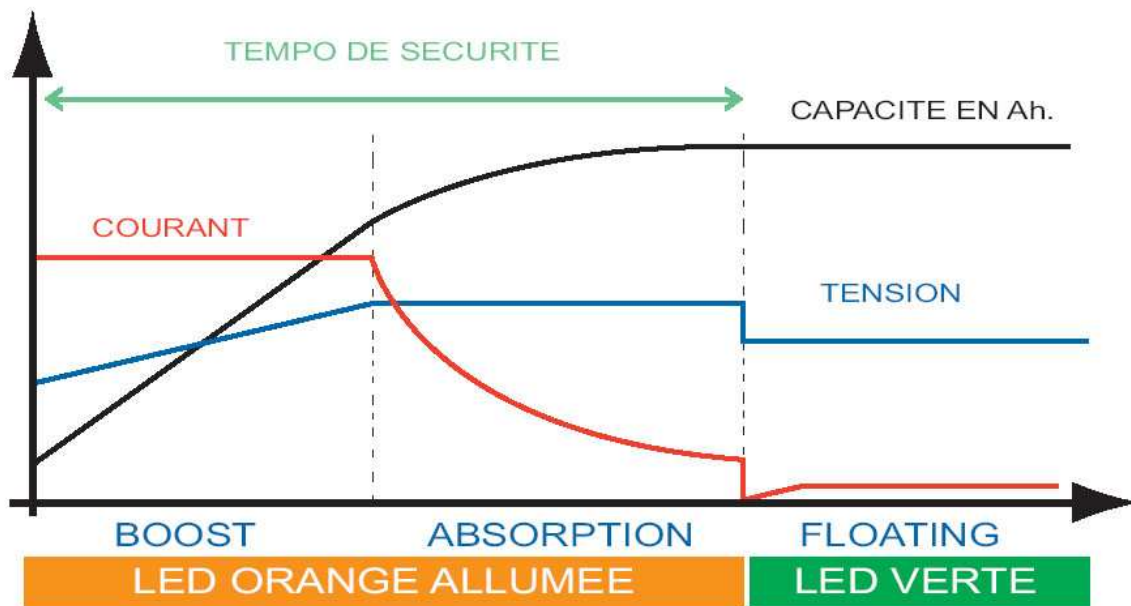


Fig. 28. Courbes de charges du chargeur 12V 20A (Courbes-chargeur-premium.jpg).

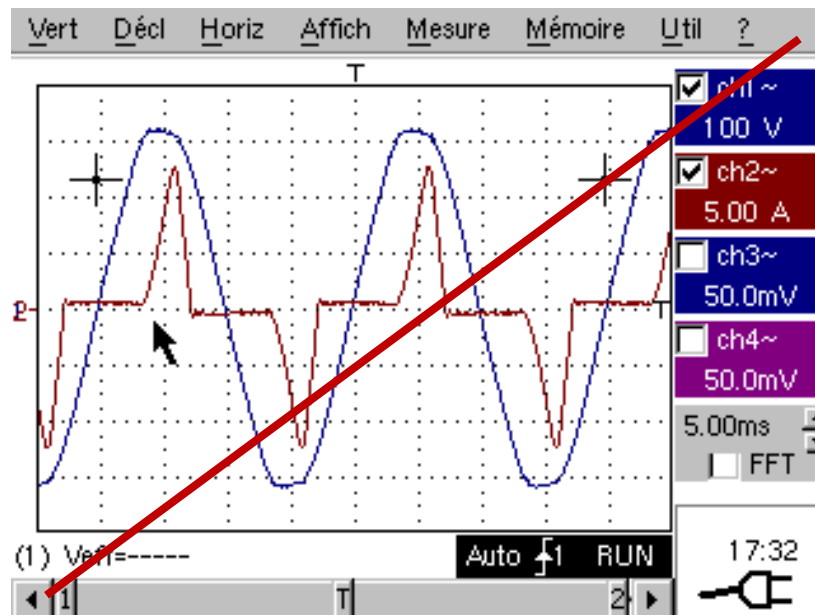


Fig. 29. Tension secteur et courant de ligne du chargeur 12V 20A (xxx.bmp).

	Tension efficace	Haute tension	Condensateur	Courant	Courant efficace	Courant maximal	Durée de conduction	Facteur de puissance
	V_{1eff} en V	V_e en V	C_e en μF	I_e en A	I_{1eff} en A	I_{1max} en A	ΔT en ms	FP
Théorique	230	304	361	1,096				
Simulée	228	302	360	1,000	2,297	7,14	2,42	0,576
Mesurée								

Fig. 30. Synthèse des mesures pour un chargeur 12V 20A.

4.3 Chargeur 12V 25A – CTEK MXS 25000

Le modèle présenté ici est un chargeur de marque CTEK modèle MXS 25000, 12V 25A [3].



Fig. 31. Le chargeur CTEK MXS 25000 [3].

Avec V_s la tension aux bornes de la batterie et I_s le courant de sortie du chargeur, la puissance de sortie vaut :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (7)$$

A partir de l'expression du rendement du convertisseur $\eta = \frac{P_s}{P_e}$, la valeur du courant d'entrée est donnée par :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (8)$$

Le tableau suivant présente les différentes puissances mises en jeux pour une batterie, ainsi que le courant équivalent coté redresseur haute tension.

Tension	Courant	Puissance	Rendement	Haute tension	Courant
V_s en V	I_s en A	P_s en W	en %	V_e en V	I_e en A
13,6	25	340	90%	304	1,243
14,2	25	355	90%	304	1,298
15	25	375	90%	304	1,371
16	25	400	90%	304	1,462

Fig. 32. Puissance transmise et courant d'entrée du convertisseur 12V 25A (AN-Calculs.xls / Batteries).

En fixant l'ondulation aux bornes du condensateur de filtrage d'entrée, la valeur du condensateur se calcule à partir de l'expression suivante :

$$C_e = \frac{I_e}{2 \times F \times \Delta V_e} \quad (9)$$

avec $F = 50$ Hz la fréquence du réseau d'alimentation électrique.

Haute tension	Ondulation	Ondulation	Courant	Condensateur
V_e en V	en %	ΔV_e en V	I_e en A	C_e en μF
304	10%	30,400	1,243	409
304	10%	30,400	1,298	427
304	10%	30,400	1,371	451
304	10%	30,400	1,462	481

Fig. 33. Valeur du condensateur d'entrée du convertisseur 12V 25A (AN-Calculs.xls / Batteries).

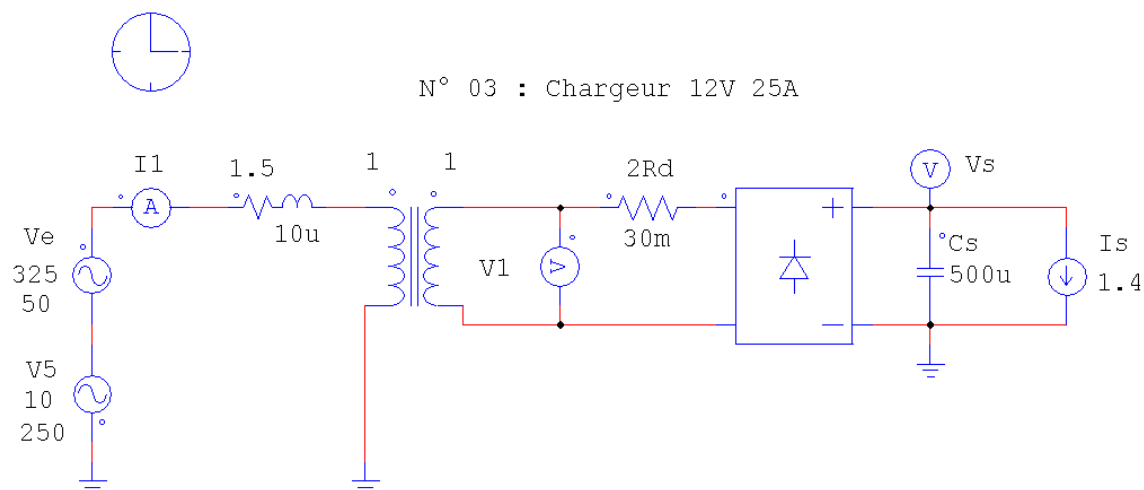


Fig. 34. Le schéma de la simulation SIMCAD pour un chargeur 12V 25A.

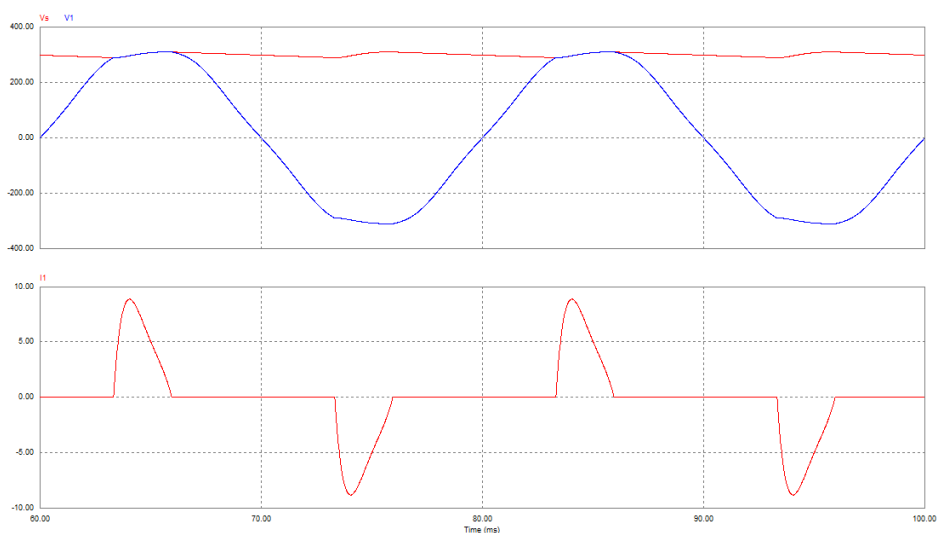


Fig. 35. Résultats de la simulation SIMCAD pour un chargeur 12V 25A.

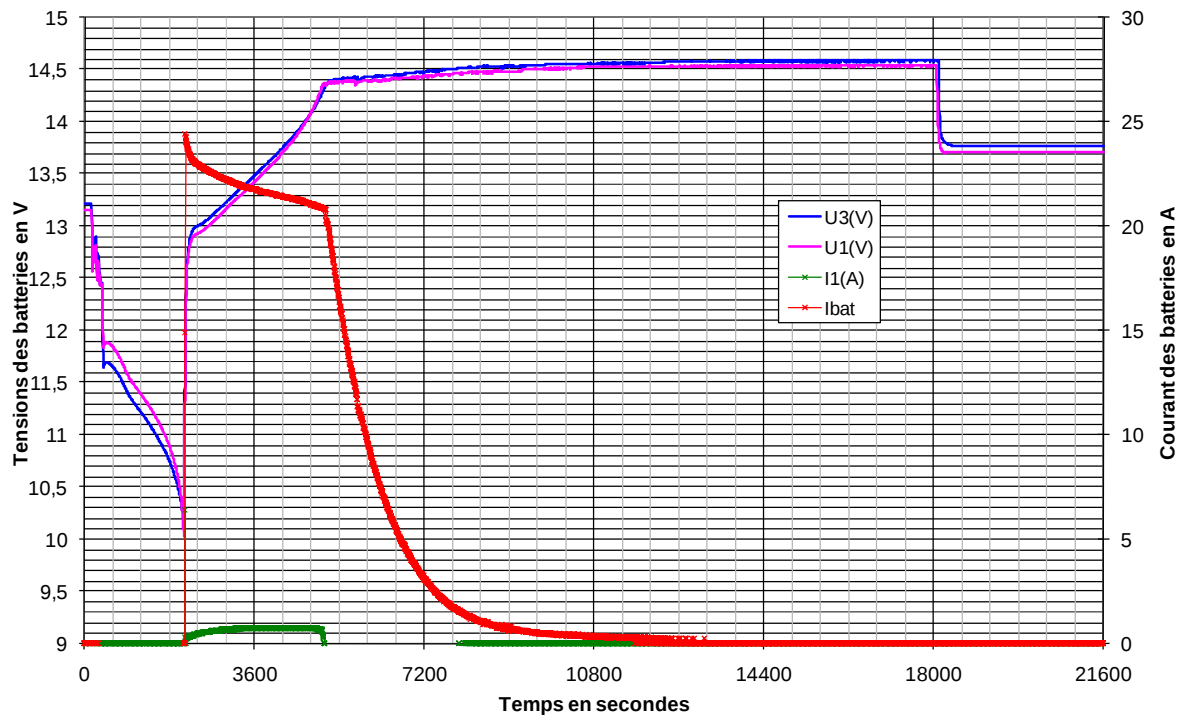


Fig. 36. Courbes de charges du chargeur 12V 25A (CTEK-MXS-25000-2.xls).

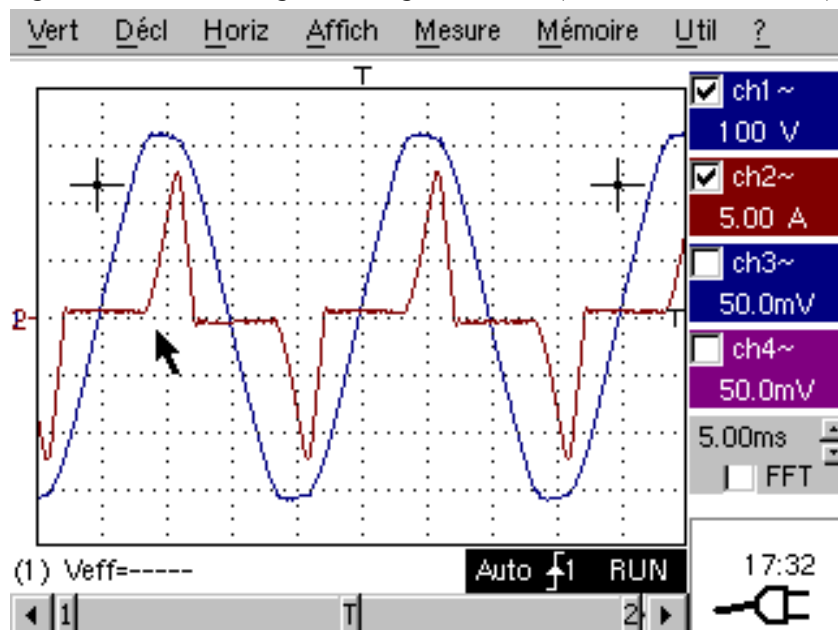


Fig. 37. Tension secteur et courant de ligne du chargeur 12V 25A (190609_173223-02.bmp).

	Tension efficace	Haute tension	Condensateur	Courant	Courant efficace	Courant maximal	Durée de conduction	Facteur de puissance
	V_{1eff} en V	V_e en V	C_e en μF	I_e en A	I_{1eff} en A	I_{1max} en A	ΔT en ms	FP
Théorique	230	304	481	1,371				
Simulée	227	300	500	1,400	3,048	8,81	2,57	0,607
Mesurée	232,62	≈ 300	xx	xx	4,486	12,221	≈ 4	0,697

Fig. 38. Synthèse des mesures pour un chargeur 12V 25A.

4.4 Chargeur 12V 40A – DOLPHIN 12V 40A

Le modèle présenté ici est un chargeur de marque SPEEDOMAX modèle DOLPHIN 12V 40A [6].



Fig. 39. Le chargeur SPEEDOMAX DOLPHIN 12V 40A [6].

Avec V_s la tension aux bornes de la batterie et I_s le courant de sortie du chargeur, la puissance de sortie vaut :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (10)$$

A partir de l'expression du rendement du convertisseur $\eta = \frac{P_s}{P_e}$, la valeur du courant d'entrée est donnée par :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (11)$$

Le tableau suivant présente les différentes puissances mises en jeu pour une batterie, ainsi que le courant équivalent coté redresseur haute tension.

Tension	Courant	Puissance	Rendement	Haute tension	Courant
V_s en V	I_s en A	P_s en W	en %	V_e en V	I_e en A
13,6	40	544	90%	300	2,015
14,2	40	568	90%	300	2,104
15	40	600	90%	300	2,222
16	40	640	90%	300	2,370

Fig. 40. Puissance transmise et courant d'entrée du convertisseur 12V 40A (AN-Calculs.xls / Batteries).

En fixant l'ondulation aux bornes du condensateur de filtrage d'entrée, la valeur du condensateur se calcule à partir de l'expression suivante :

$$C_e = \frac{I_e}{2 \times F \times \Delta V_e} \quad (12)$$

avec $F = 50$ Hz la fréquence du réseau d'alimentation électrique.

Haute tension	Ondulation	Ondulation	Courant	Condensateur
V_e en V	en %	ΔV_e en V	I_e en A	C_e en μF
300	10%	30,000	2,015	672
300	10%	30,000	2,104	701
300	10%	30,000	2,222	741
300	10%	30,000	2,370	790

Fig. 41. Valeur du condensateur d'entrée du convertisseur 12V 40A (AN-Calculs.xls / Batteries).

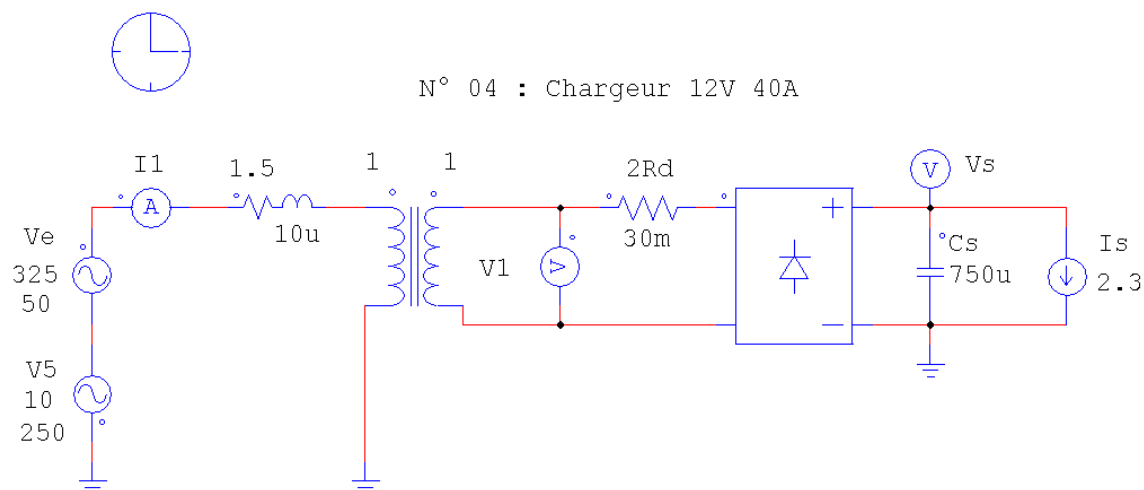


Fig. 42. Le schéma de la simulation SIMCAD pour un chargeur 12V 40A.

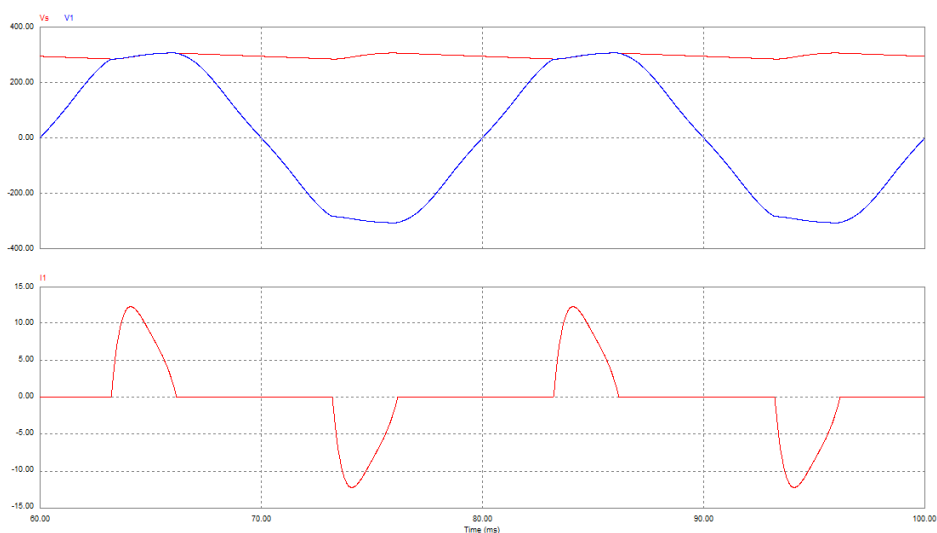


Fig. 43. Résultats de la simulation SIMCAD pour un chargeur 12V 40A.

Date : mercredi 24 juin 2009 – 12 h 22 min 32 s - $\Delta T = 2401$ s.

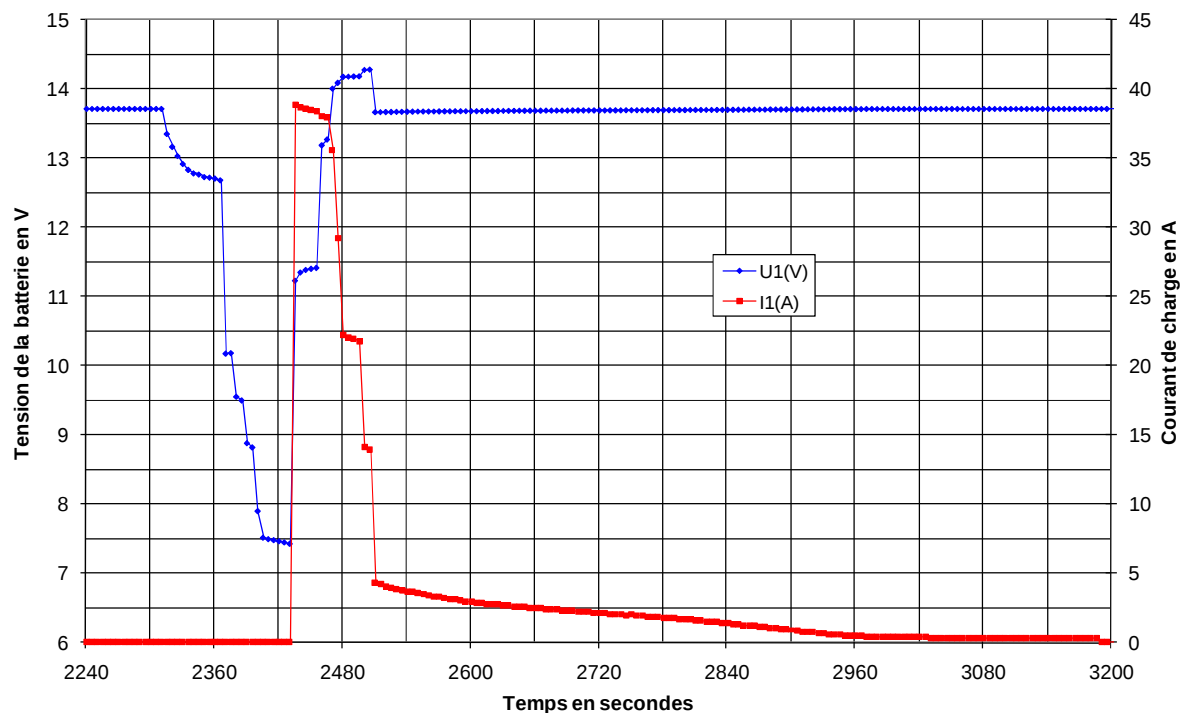


Fig. 44. Courbes de charges du chargeur 12V 40A (SPEEDOMAX-12V-40A-1.xls).

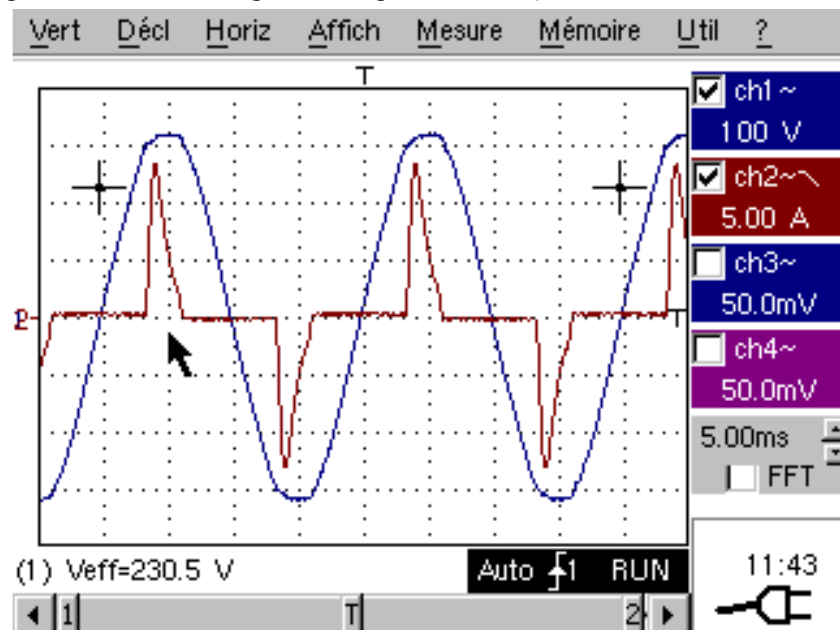


Fig. 45. Tension secteur et courant de ligne du chargeur 12V 40A (240609_114325-02.bmp).

	Tension efficace	Haute tension	Condensateur	Courant	Courant efficace	Courant maximal	Durée de conduction	Facteur de puissance
	V_{1eff} en V	V_e en V	C_e en μF	I_e en A	I_{1eff} en A	I_{1max} en A	ΔT en ms	FP
Théorique	230	300	741	2,222				
Simulée	225	296	750	2,300	4,650	12,20	2,92	0,651
Mesurée	231,1	xx	xx	xx	4,202	14,246	≈ 3	0,600

Fig. 46. Synthèse des mesures pour un chargeur 12V 40A.

4.5 Chargeur 12V 40A – GYS Inverter 40 HF

Le modèle présenté ici est un chargeur de marque GYS modèle Inverter 40 HF, 12V 40A [7].



Fig. 47. Le chargeur GYS Inverter 40 HF 12V 40A [7].

Avec V_s la tension aux bornes de la batterie et I_s le courant de sortie du chargeur, la puissance de sortie vaut :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (13)$$

A partir de l'expression du rendement du convertisseur $\eta = \frac{P_s}{P_e}$, la valeur du courant d'entrée est donnée par :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (14)$$

Le tableau suivant présente les différentes puissances mises en jeux pour une batterie, ainsi que le courant équivalent coté redresseur haute tension.

Tension	Courant	Puissance	Rendement	Haute tension	Courant
V_s en V	I_s en A	P_s en W	en %	V_e en V	I_e en A
13,6	40	544	90%	300	2,015
14,2	40	568	90%	300	2,104
15	40	600	90%	300	2,222
16	40	640	90%	300	2,370

Fig. 48. Puissance transmise et courant d'entrée du convertisseur GYS 12V 40A (AN-Calculs.xls / Batteries).

En fixant l'ondulation aux bornes du condensateur de filtrage d'entrée, la valeur du condensateur se calcule à partir de l'expression suivante :

$$C_e = \frac{I_e}{2 \times F \times \Delta V_e} \quad (15)$$

avec $F = 50$ Hz la fréquence du réseau d'alimentation électrique.

Haute tension	Ondulation	Ondulation	Courant	Condensateur
V_e en V	en %	ΔV_e en V	I_e en A	C_e en μF
300	10%	30,000	2,015	672
300	10%	30,000	2,104	701
300	10%	30,000	2,222	741
300	10%	30,000	2,370	790

Fig. 49. Valeur du condensateur d'entrée du convertisseur GYS 12V 40A (AN-Calculs.xls / Batteries).

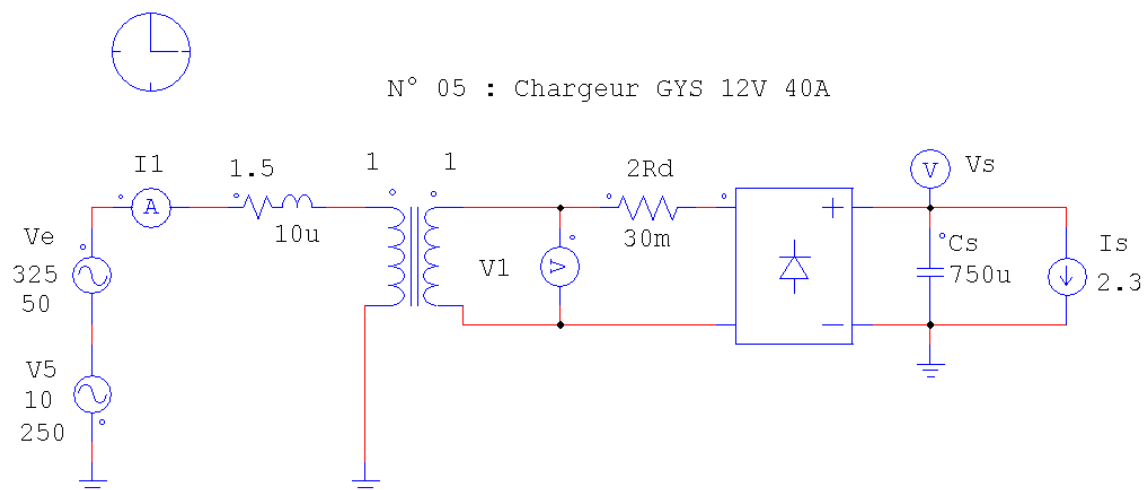


Fig. 50. Le schéma de la simulation SIMCAD pour un chargeur GYS 12V 40A.

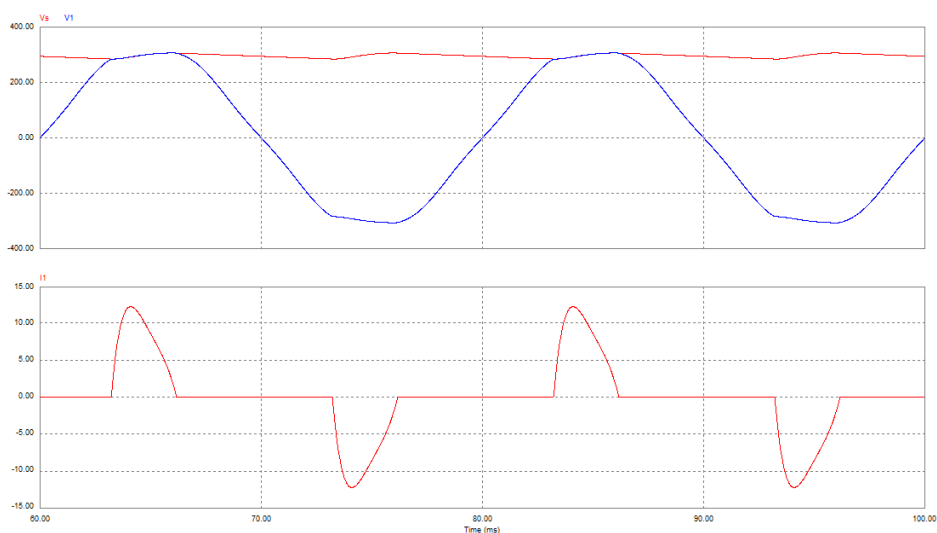


Fig. 51. Résultats de la simulation SIMCAD pour un chargeur GYS 12V 40A.

Date : mercredi 13 mai 2009 et jeudi 14 mai 2009.

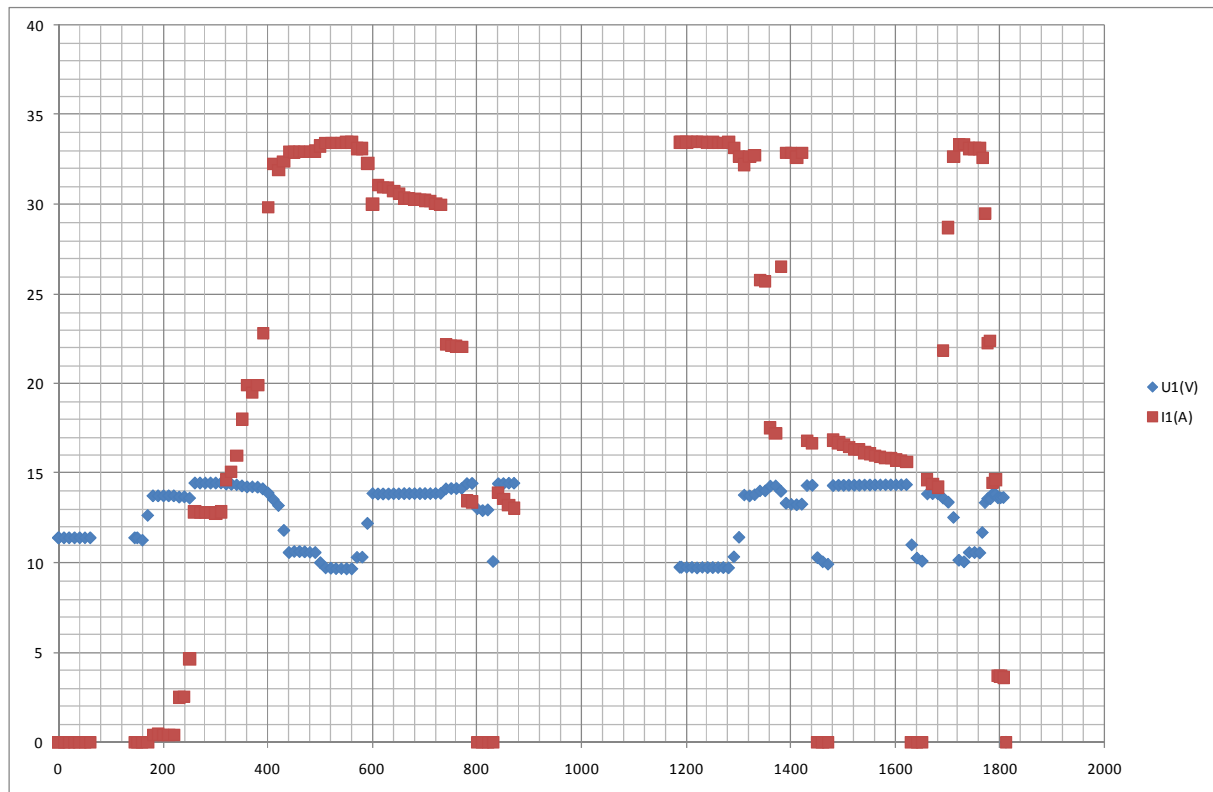


Fig. 52. Courbes de charges du chargeur GYS 12V 40A (GYS-40HF.xls).

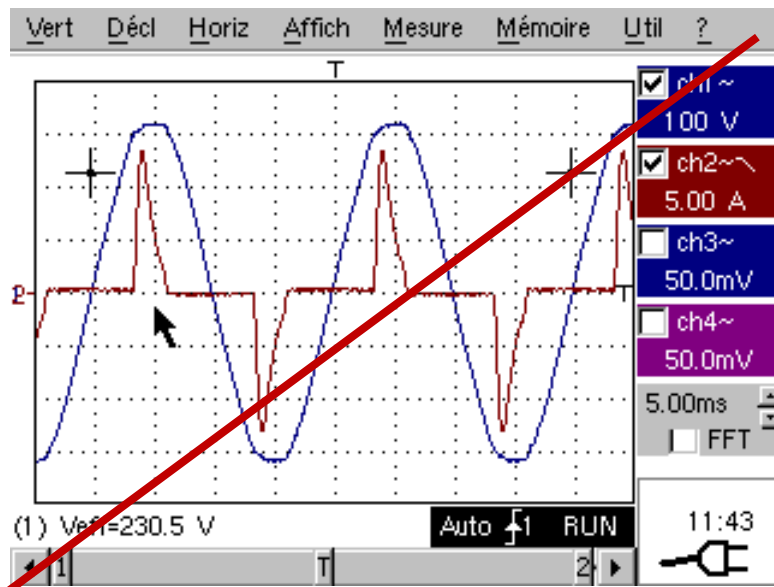


Fig. 53. Tension secteur et courant de ligne du chargeur GYS 12V 40A (xxx.bmp).

	Tension efficace	Haute tension	Condensateur	Courant	Courant efficace	Courant maximal	Durée de conduction	Facteur de puissance
	V_{eff} en V	V_e en V	C_e en μF	I_e en A	I_{eff} en A	I_{max} en A	ΔT en ms	FP
Théorique	230	300	741	2,222				
Simulée	225	296	750	2,300	4,650	12,20	2,92	0,651
Mesurée		xx	xx	xx				

Fig. 54. Synthèse des mesures pour un chargeur GYS 12V 40A.

4.6 Chargeur 30V 20A – Excelsys XCB 30V-20A

Le modèle présenté ici est un chargeur de marque EXCELSYS modèle XCB 30V-20A [10].



Fig. 55. Le chargeur EXCELSYS modèle XCB 30V-20A [10].

Avec V_s la tension aux bornes de la batterie et I_s le courant de sortie du chargeur, la puissance de sortie vaut :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (16)$$

A partir de l'expression du rendement du convertisseur $\eta = \frac{P_s}{P_e}$, la valeur du courant d'entrée est donnée par :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (17)$$

Le tableau suivant présente les différentes puissances mises en jeux pour 2 batteries en série, ainsi que le courant équivalent coté redresseur haute tension.

Tension	Courant	Puissance	Rendement	Haute tension	Courant
V_s en V	I_s en A	P_s en W	en %	V_e en V	I_e en A
27,2	20	544	90%	295	2,049
28,4	20	568	90%	295	2,139
30	20	600	90%	295	2,260
32	20	640	90%	295	2,411

Fig. 56. Puissance transmise et courant d'entrée du convertisseur 30V 20A (AN-Calculs-2009-07.xls / Batteries).

En fixant l'ondulation aux bornes du condensateur de filtrage d'entrée, la valeur du condensateur se calcule à partir de l'expression suivante :

$$C_e = \frac{I_e}{2 \times F \times \Delta V_e} \quad (18)$$

avec $F = 50$ Hz la fréquence du réseau d'alimentation électrique.

Haute tension	Ondulation	Ondulation	Courant	Condensateur
V_e en V	en %	ΔV_e en V	I_e en A	C_e en μF
295	40%	118,0	2,049	174
295	40%	118,0	2,139	181
295	40%	118,0	2,260	192
295	40%	118,0	2,411	204

Fig. 57. Valeur du condensateur d'entrée du convertisseur 30V 20A (AN-Calculs-2009-07.xls / Batteries).

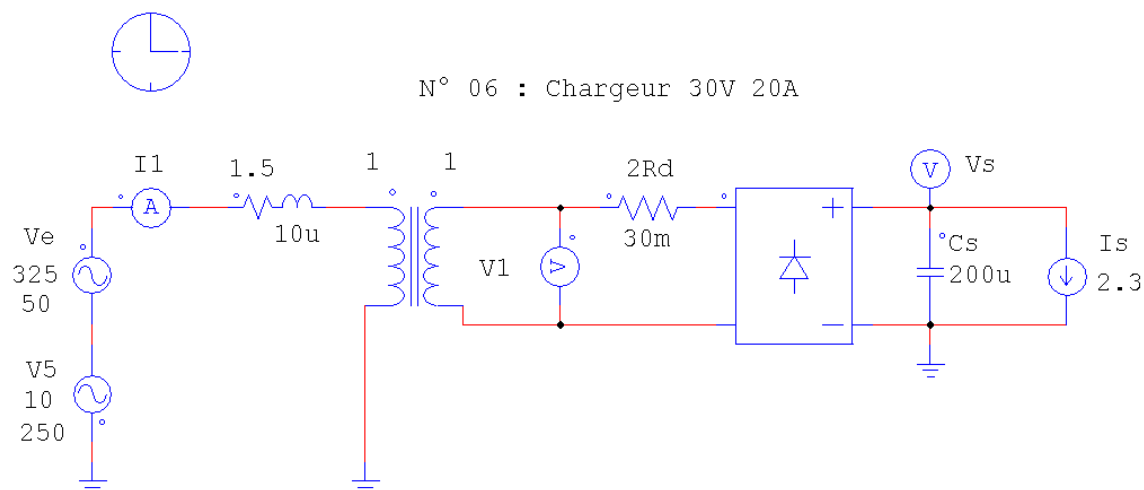


Fig. 58. Le schéma de la simulation SIMCAD pour un chargeur 30V 20A.

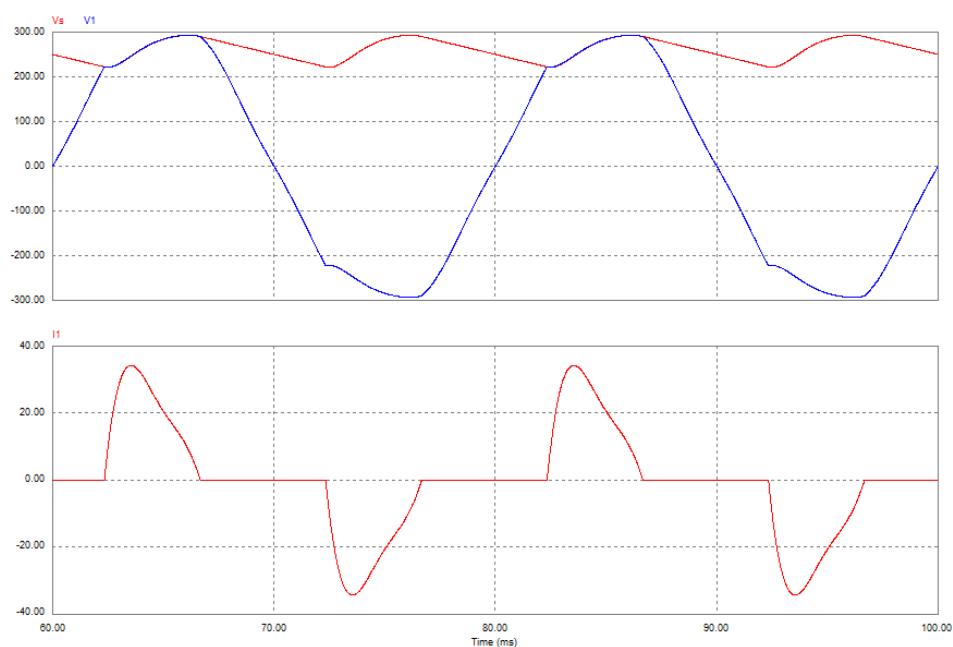


Fig. 59. Résultats de la simulation SIMCAD pour un chargeur 30V 20A.

Date : mercredi 26 mai 2009 à 16h10 et mercredi 27 mai 2009 10h20-14h00.

Charge de la batterie Li-CO 90AH du 27 mai 2009

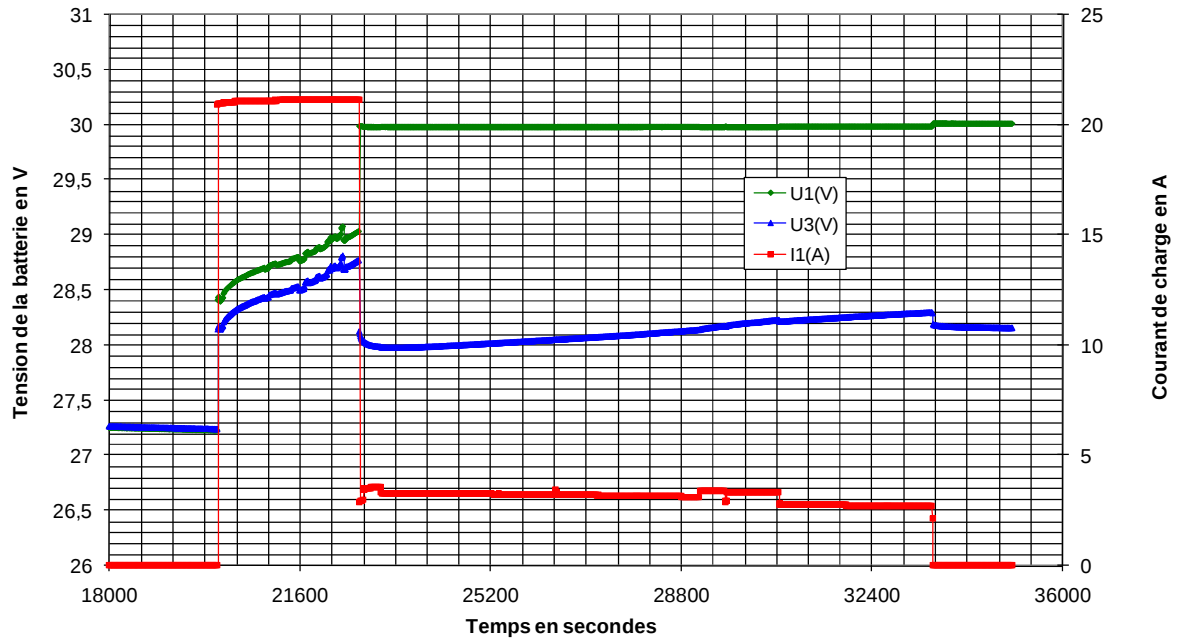


Fig. 60. Courbes de charges du chargeur XCB 30V 20A (LICO-90AH-1.xls).

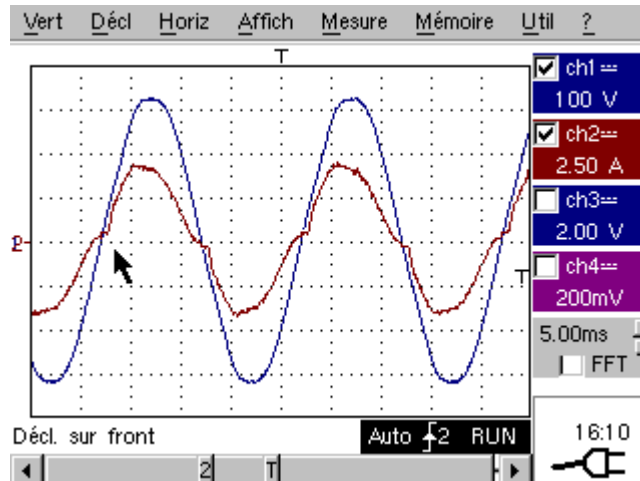


Fig. 61. Tension secteur et courant de ligne du chargeur 30V 20A (260509_161018-00.bmp).

	Tension efficace	Haute tension	Condensateur	Courant	Courant efficace	Courant maximal	Durée de conduction	Facteur de puissance
	V_{1eff} en V	V_e en V	C_e en μF	I_e en A	I_{1eff} en A	I_{1max} en A	ΔT en ms	FP
Théorique	230	295	192	2,260				
Simulée	213	260	200	2,30	1,52	3,42	4,28	0,541
Mesurée	232,7	xx	xx	xx	2,90	4,40	xx	0,977

Fig. 62. Synthèse des mesures pour un chargeur XCB 30V 20A.

Le courant d'entrée est quasiment sinusoïdal car le chargeur dispose d'un P.F.C. (Power Factor Corrector).

La puissance utile est de 583W. La puissance absorbée est de 659W. Le rendement est de 88,5%.

4.7 Chargeur 24V 80A – ZIVAN NG3 24V 8AA

Le modèle présenté ici est un chargeur de marque ZIVAN modèle NG3, 24V 80A [9].

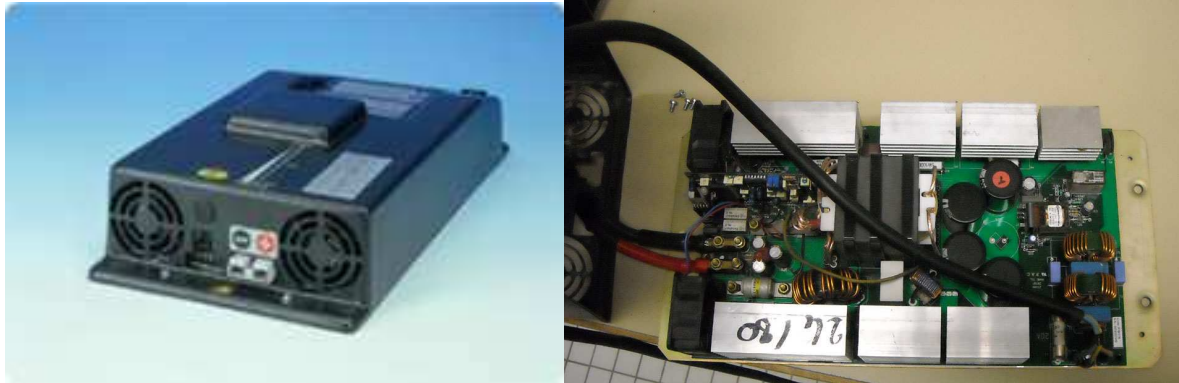


Fig. 63. Le chargeur ZIVAN modèle NG3 24V-80A [9].

Avec V_s la tension aux bornes de la batterie et I_s le courant de sortie du chargeur, la puissance de sortie vaut :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (19)$$

A partir de l'expression du rendement du convertisseur $\eta = \frac{P_s}{P_e}$, la valeur du courant d'entrée est donnée par :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (20)$$

Le tableau suivant présente les différentes puissances mises en jeux pour 2 batteries en série, ainsi que le courant équivalent coté redresseur haute tension.

Tension	Courant	Puissance	Rendement	Haute tension	Courant
V_s en V	I_s en A	P_s en W	en %	V_e en V	I_e en A
27,2	80	2176	90%	295	8,196
28,4	80	2272	90%	295	8,557
30	80	2400	90%	295	9,040
32	80	2560	90%	295	9,642

Fig. 64. Puissance transmise et courant d'entrée du convertisseur 24V 80A (AN-Calculs-2009-07.xls / Batteries).

En fixant l'ondulation aux bornes du condensateur de filtrage d'entrée, la valeur du condensateur se calcule à partir de l'expression suivante :

$$C_e = \frac{I_e}{2 \times F \times \Delta V_e} \quad (21)$$

avec $F = 50$ Hz la fréquence du réseau d'alimentation électrique.

Haute tension	Ondulation	Ondulation	Courant	Condensateur
V_e en V	en %	ΔV_e en V	I_e en A	C_e en μF
295	40%	118,0	8,196	695
295	40%	118,0	8,557	725
295	40%	118,0	9,040	766
295	40%	118,0	9,642	817

Fig. 65. Valeur du condensateur d'entrée du convertisseur 24V 80A (AN-Calculs-2009-07.xls / Batteries).

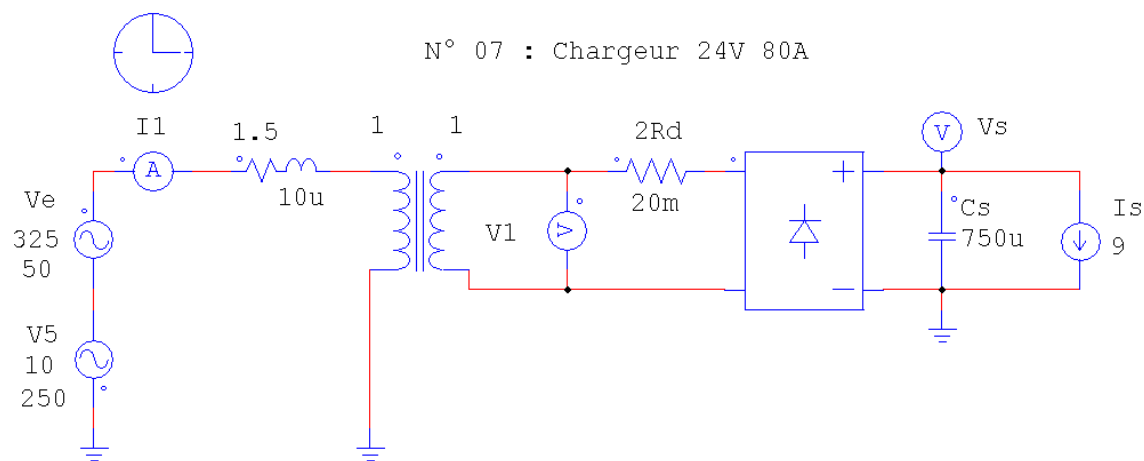


Fig. 66. Le schéma de la simulation SIMCAD pour un chargeur 24V 80A.

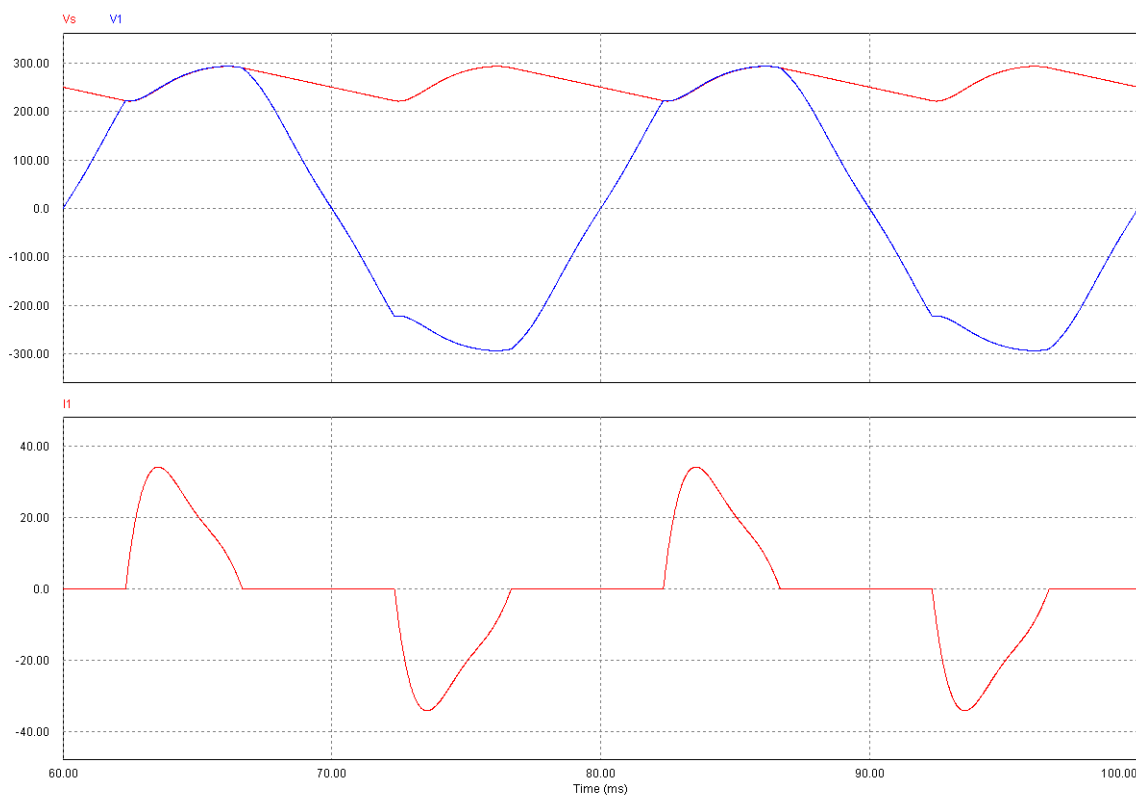


Fig. 67. Résultats de la simulation SIMCAD pour un chargeur 24V 80A.

Date : mardi 30 juin 2009 - 14 h 38min 54s pour $\Delta T = 14403$ s.

Charge et décharge du Pocket Kart

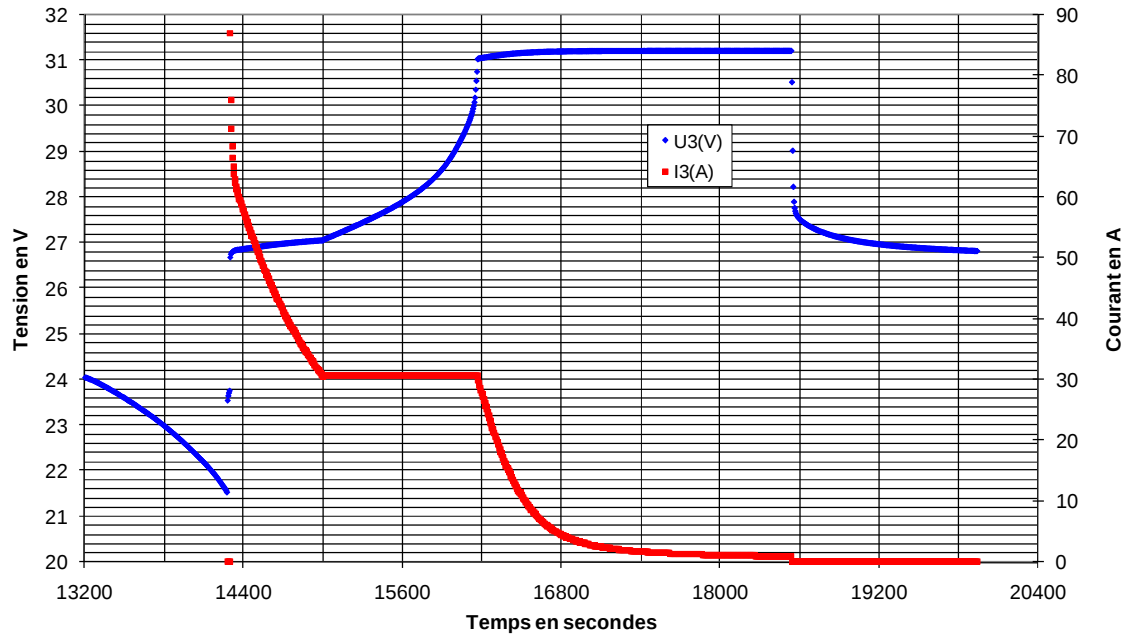


Fig. 68. Courbes de charges du chargeur 24V 80A (ZIVAN-24V-80A-3.xls).

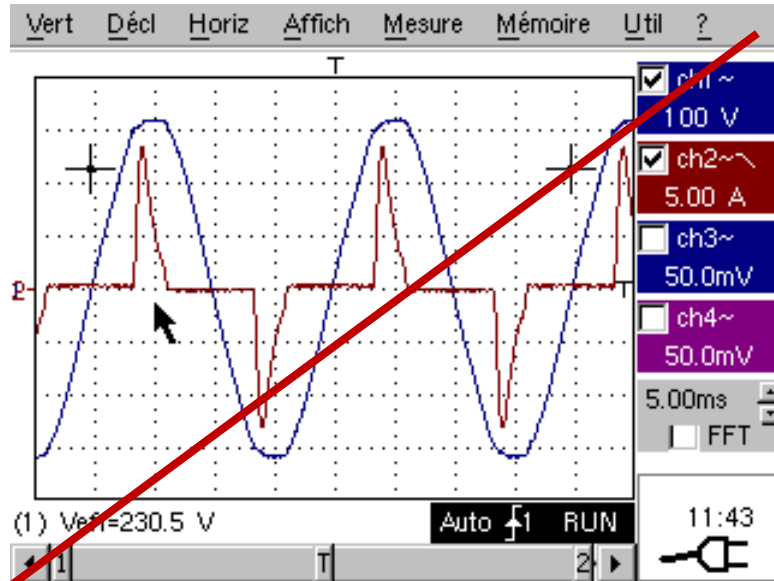


Fig. 69. Tension secteur et courant de ligne du chargeur 24V 80A (xxx.bmp).

	Tension efficace	Haute tension	Condensateur	Courant	Courant efficace	Courant maximal	Durée de conduction	Facteur de puissance
	V_{eff} en V	V_e en V	C_e en μF	I_e en A	I_{eff} en A	I_{max} en A	ΔT en ms	FP
Théorique	230	295	766	9,040				
Simulée	213	260	750	9,000	15,15	34,17	4,29	0,725
Mesurée	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx

Fig. 70. Synthèse des mesures pour un chargeur 24V 80A.

4.8 Chargeur 48V 10A - ATIB HFXR-D 48/10

Le modèle présenté ici est un chargeur de marque ATIB modèle HFXR-D 48/10, 48V 10A [8].



Fig. 71. Le chargeur ATIB modèle HFXR-D 48/10 [8].

Avec V_s la tension aux bornes de la batterie et I_s le courant de sortie du chargeur, la puissance de sortie vaut :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (22)$$

A partir de l'expression du rendement du convertisseur $\eta = \frac{P_s}{P_e}$, la valeur du courant d'entrée est donnée par :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (23)$$

Le tableau suivant présente les différentes puissances mises en jeux pour 4 batteries, ainsi que le courant équivalent coté redresseur haute tension.

Tension	Courant	Puissance	Rendement	Haute tension	Courant
V_s en V	I_s en A	P_s en W	en %	V_e en V	I_e en A
54,4	10	544	90%	300	2,015
56,8	10	568	90%	300	2,104
60	10	600	90%	300	2,222
64	10	640	90%	300	2,370

Fig. 72. Puissance transmise et courant d'entrée du convertisseur 48V 10A (AN-Calculs.xls / Batteries).

En fixant l'ondulation aux bornes du condensateur de filtrage d'entrée, la valeur du condensateur se calcule à partir de l'expression suivante :

$$C_e = \frac{I_e}{2 \times F \times \Delta V_e} \quad (24)$$

avec $F = 50$ Hz la fréquence du réseau d'alimentation électrique.

Haute tension	Ondulation	Ondulation	Courant	Condensateur
V_e en V	en %	ΔV_e en V	I_e en A	C_e en μF
300	10%	30,000	2,015	672
300	10%	30,000	2,104	701
300	10%	30,000	2,222	741
300	10%	30,000	2,370	790

Fig. 73. Valeur du condensateur d'entrée du convertisseur 48V 10A (AN-Calculs.xls / Batteries).

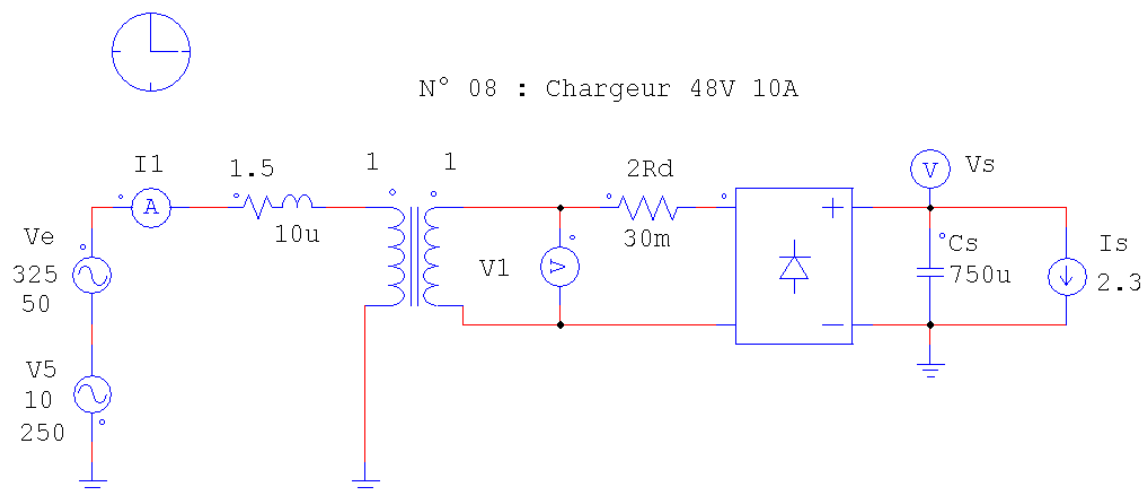


Fig. 74. Le schéma de la simulation SIMCAD pour un chargeur 48V 10A.

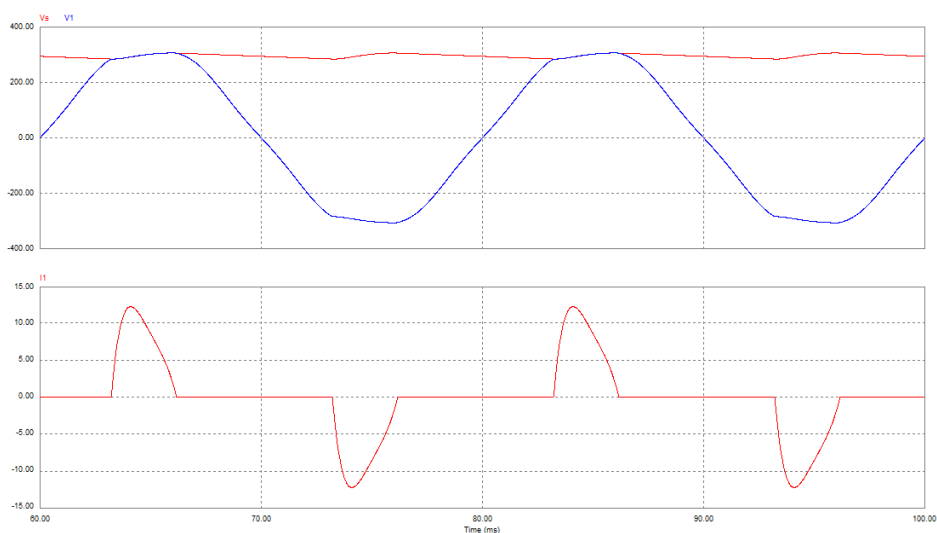


Fig. 75. Résultats de la simulation SIMCAD pour un chargeur 48V 10A.

Date : mardi 30 juin 2009 - 14 h 38min 54s pour $\Delta T = 14403$ s.

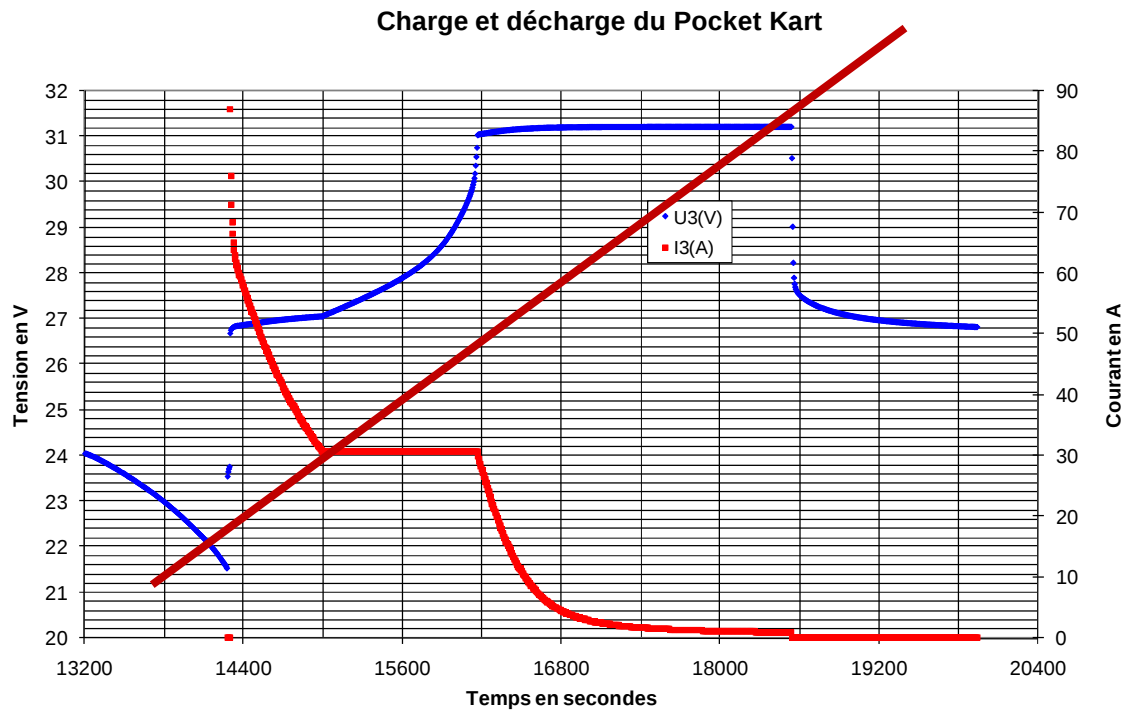


Fig. 76. Courbes de charges du chargeur 48V 10A (xxx.xls).

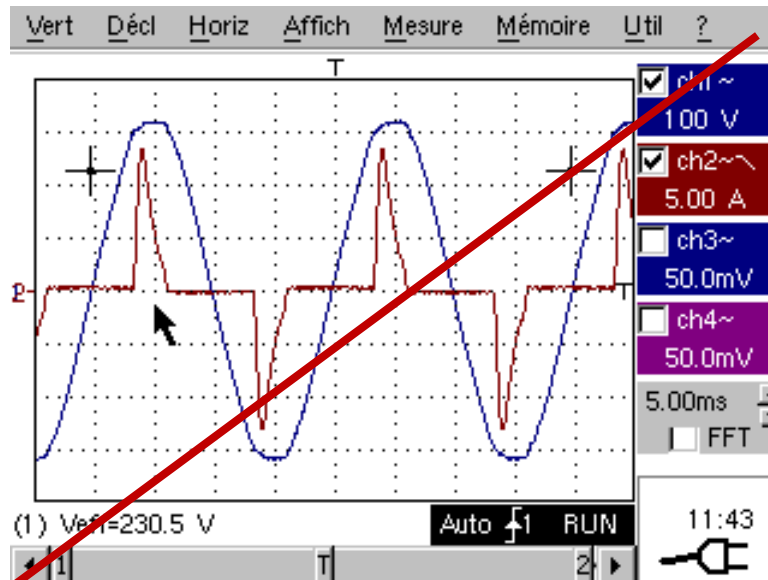


Fig. 77. Tension secteur et courant de ligne du chargeur 48V 10A (xxx.bmp).

	Tension efficace	Haute tension	Condensateur	Courant	Courant efficace	Courant maximal	Durée de conduction	Facteur de puissance
	V_{eff} en V	V_e en V	C_e en μF	I_e en A	I_{eff} en A	I_{max} en A	ΔT en ms	FP
Théorique	230	300	741	2,222				
Simulée	225	296	750	2,300	4,650	12,20	2,96	0,658
Mesurée	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx

Fig. 78. Synthèse des mesures pour un chargeur 48V 10A.

4.9 Chargeur 48V 40A – ZIVAN K2 48V 40A

Le modèle présenté ici est un chargeur de marque ZIVAN modèle K2, 48V 40A [9].

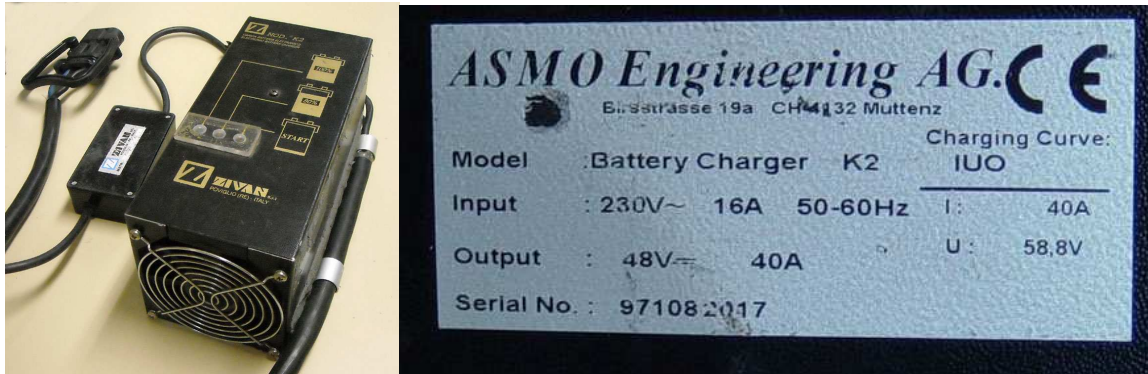


Fig. 79. Le chargeur ZIVAN modèle K2, 48V 40A [9].

Avec V_s la tension aux bornes de la batterie et I_s le courant de sortie du chargeur, la puissance de sortie vaut :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (25)$$

A partir de l'expression du rendement du convertisseur $\eta = \frac{P_s}{P_e}$, la valeur du courant d'entrée est donnée par :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (26)$$

Le tableau suivant présente les différentes puissances mises en jeux pour 4 batteries, ainsi que le courant équivalent coté redresseur haute tension.

Tension	Courant	Puissance	Rendement	Haute tension	Courant
V_s en V	I_s en A	P_s en W	en %	V_e en V	I_e en A
54,4	40	2176	90%	295	8,196
58,8	40	2352	90%	295	8,859
60	40	2400	90%	295	9,040
64	40	2560	90%	295	9,642

Fig. 80. Puissance transmise et courant d'entrée du convertisseur 48V 40A (AN-Calculs.xls / Batteries).

En fixant l'ondulation aux bornes du condensateur de filtrage d'entrée, la valeur du condensateur se calcule à partir de l'expression suivante :

$$C_e = \frac{I_e}{2 \times F \times \Delta V_e} \quad (27)$$

avec $F = 50$ Hz la fréquence du réseau d'alimentation électrique.

Haute tension	Ondulation	Ondulation	Courant	Condensateur
V_e en V	en %	ΔV_e en V	I_e en A	C_e en μF
295	30%	88,5	8,196	926
295	30%	88,5	8,859	1001
295	30%	88,5	9,040	1021
295	30%	88,5	9,642	1090

Fig. 81. Valeur du condensateur d'entrée du convertisseur 48V 40A (AN-Calculs.xls / Batteries).

Les valeurs des composants de la simulation ont été modifiées pour correspondre au mieux aux valeurs mesurées lors des essais expérimentaux (résistance de ligne et valeur du condensateur).

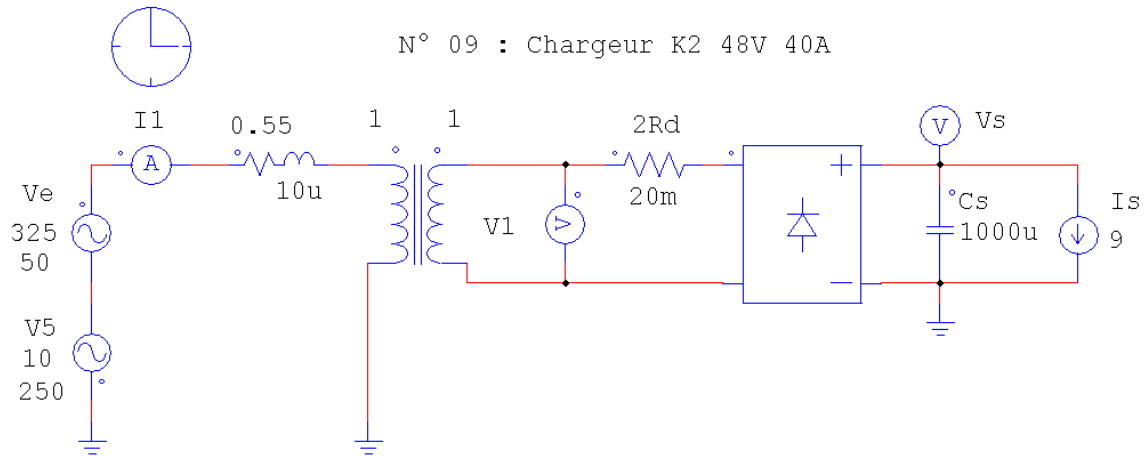


Fig. 82. Le schéma de la simulation SIMCAD pour un chargeur K2 48V 40A.

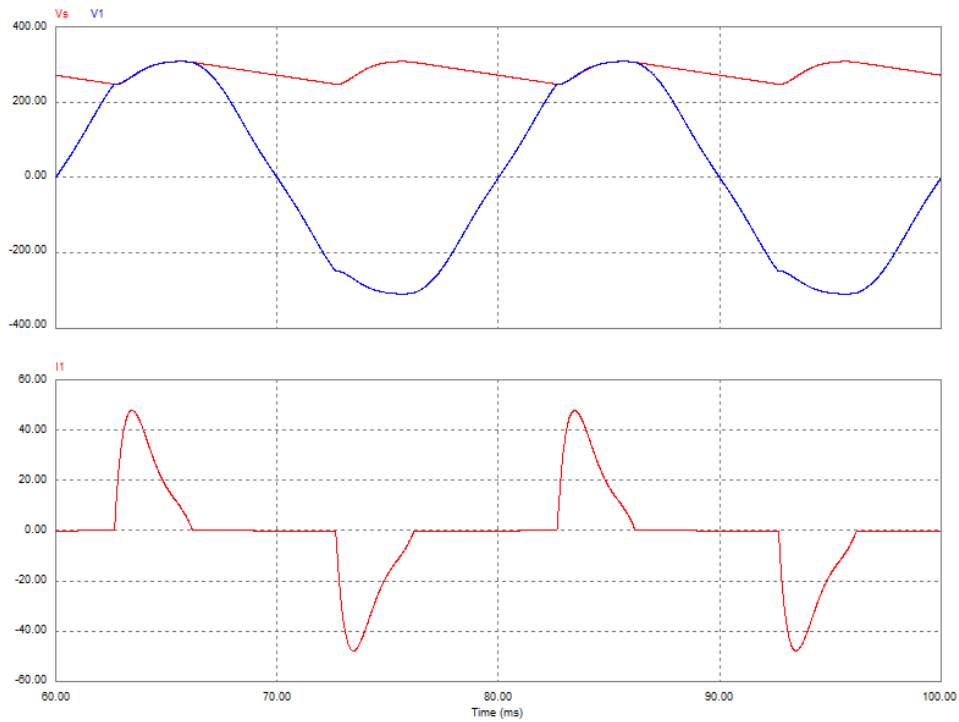


Fig. 83. Résultats de la simulation SIMCAD pour un chargeur K2 48V 40A.

Date : jeudi 7 mai 2009 - 11 h 10min 03s pour $\Delta T = 1800$ s et 11h 14min 33s pour $\Delta T = 2075$ s.

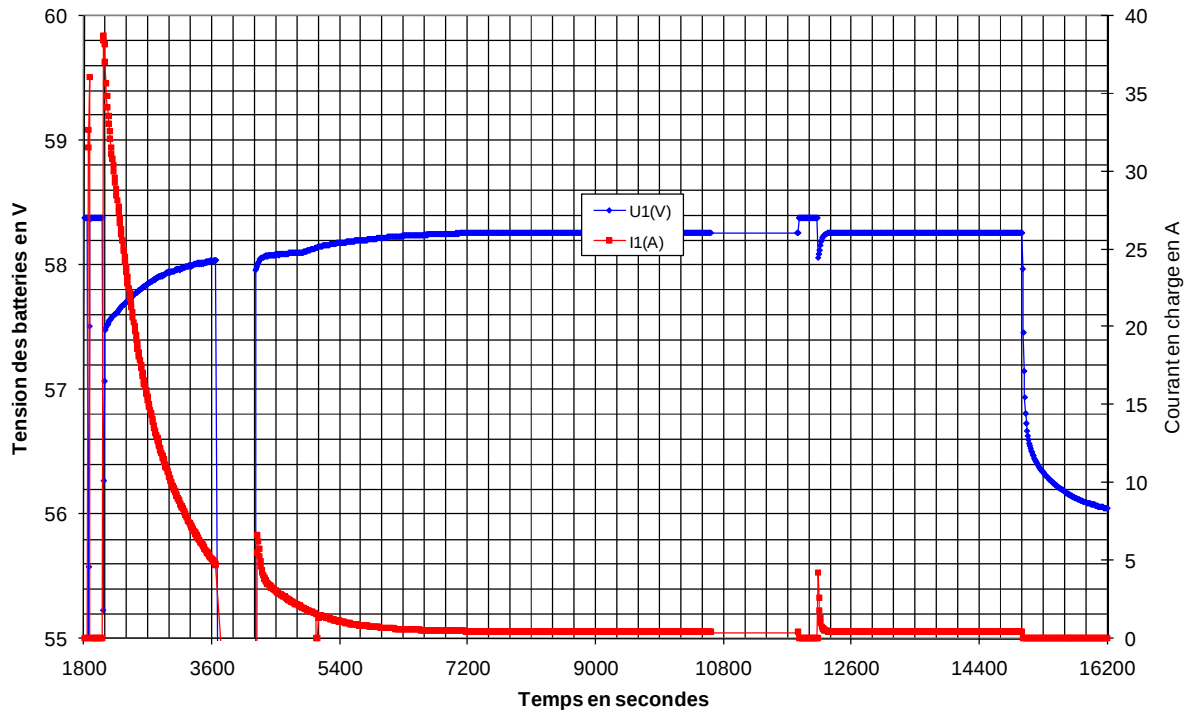


Fig. 84. Courbes de charges du chargeur K2 48V 40A (2009-05-06-Mesures.xls).

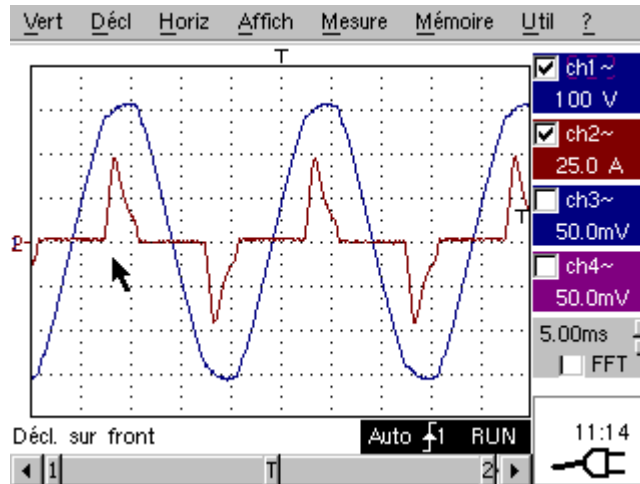


Fig. 85. Tension secteur et courant de ligne du chargeur K2 48V 40A (070509_111428-13.bmp).

	Tension efficace	Haute tension	Condensateur	Courant	Courant efficace	Courant maximal	Durée de conduction	Facteur de puissance
	V_{1eff} en V	V_e en V	C_e en μF	I_e en A	I_{1eff} en A	I_{1max} en A	ΔT en ms	FP
Théorique	230	295	1021	9,000				
Simulée	223	280	1000	9,000	17,54	47,8	3,70	0,644
Mesurée	228,5	xx	xx	xx	16,1	47,8	$\approx 3,5$	0,672

Fig. 86. Synthèse des mesures pour un chargeur 48V 40A.

La puissance utile est de 2162W. La puissance absorbée est de 2468W, pour une puissance apparente de 3671VA. Le rendement est de 88,3%.

4.10 Chargeur 48V 40A à prélèvement sinusoïdal – SPE 48V 40A

Le modèle présenté ici est un chargeur de marque SPE Elettronica Industriale CBSW4S 48-40 [11].



Fig. 87. Le chargeur SPE CBSW4S, 48V 40A [11].

Avec V_s la tension aux bornes de la batterie et I_s le courant de sortie du chargeur, la puissance de sortie vaut :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (28)$$

A partir de l'expression du rendement du convertisseur $\eta = \frac{P_s}{P_e}$, la valeur du courant d'entrée est donnée par :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (29)$$

Le tableau suivant présente les différentes puissances mises en jeux pour 4 batteries, ainsi que le courant équivalent coté redresseur haute tension.

Tension	Courant	Puissance	Rendement	Haute tension	Courant
V_s en V	I_s en A	P_s en W	en %	V_e en V	I_e en A
54,4	40	2176	85%	270	9,481
56,8	40	2272	85%	270	9,900
60	40	2400	85%	270	10,458
64	40	2560	85%	270	11,155

Fig. 88. Puissance transmise et courant d'entrée du convertisseur SPE 48V 40A (AN-Calculs.xls / Batteries).

En fixant l'ondulation aux bornes du condensateur de filtrage d'entrée, la valeur du condensateur se calcule à partir de l'expression suivante :

$$C_e = \frac{I_e}{2 \times F \times \Delta V_e} \quad (30)$$

avec $F = 50$ Hz la fréquence du réseau d'alimentation électrique.

Haute tension	Ondulation	Ondulation	Courant	Condensateur
V_e en V	en %	ΔV_e en V	I_e en A	C_e en μF
270	30%	81,0	9,481	1171
270	30%	81,0	9,900	1222
270	30%	81,0	10,458	1291
270	30%	81,0	11,155	1377

Fig. 89. Valeur du condensateur d'entrée du convertisseur SPE 48V 40A (AN-Calculs.xls / Batteries).

Une inductance de lissage a été ajoutée afin de rendre le courant le ligne plus sinusoïdal.

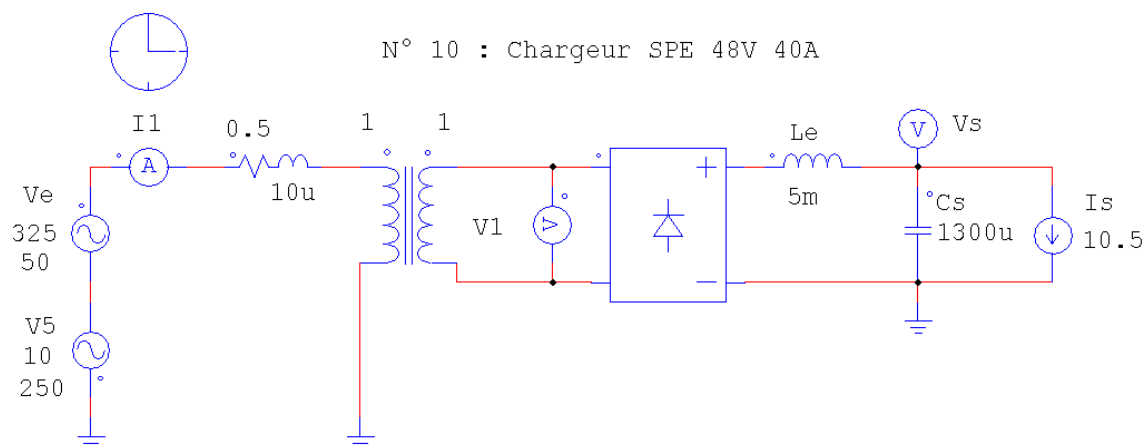


Fig. 90. Le schéma de la simulation SIMCAD pour un chargeur SPE 48V 40A.

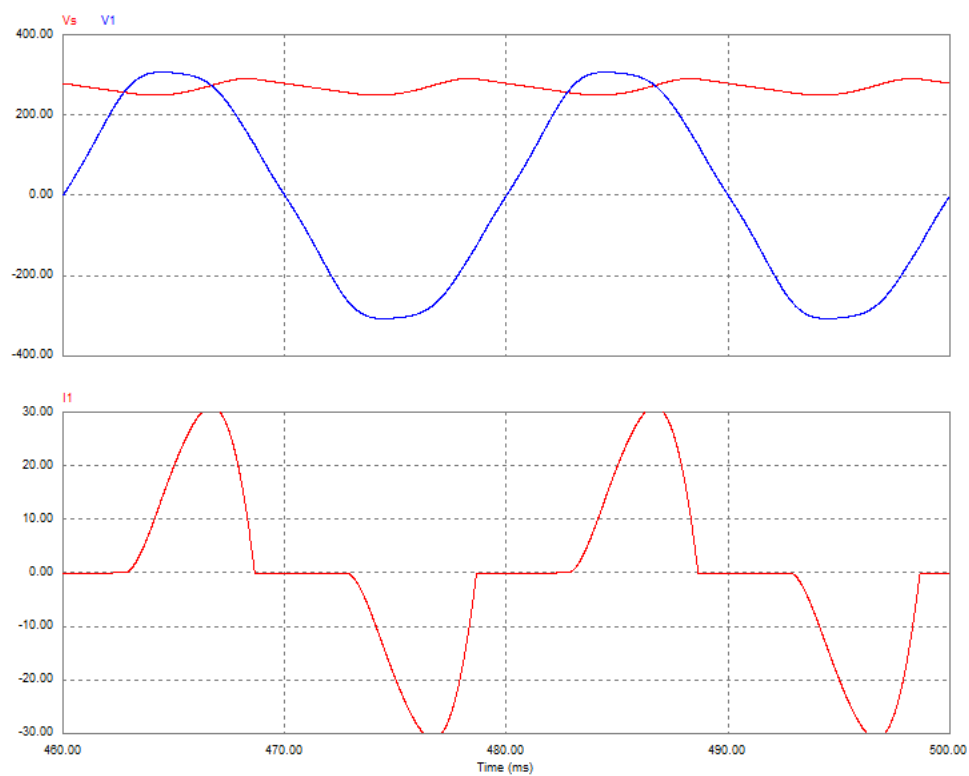


Fig. 91. Résultats de la simulation SIMCAD pour un chargeur SPE 48V 40A.

Date : samedi 16 mai 2009 - 18 h 46min 39s pour $\Delta T = 10805$ s.

Tension des batteries et courant de charge

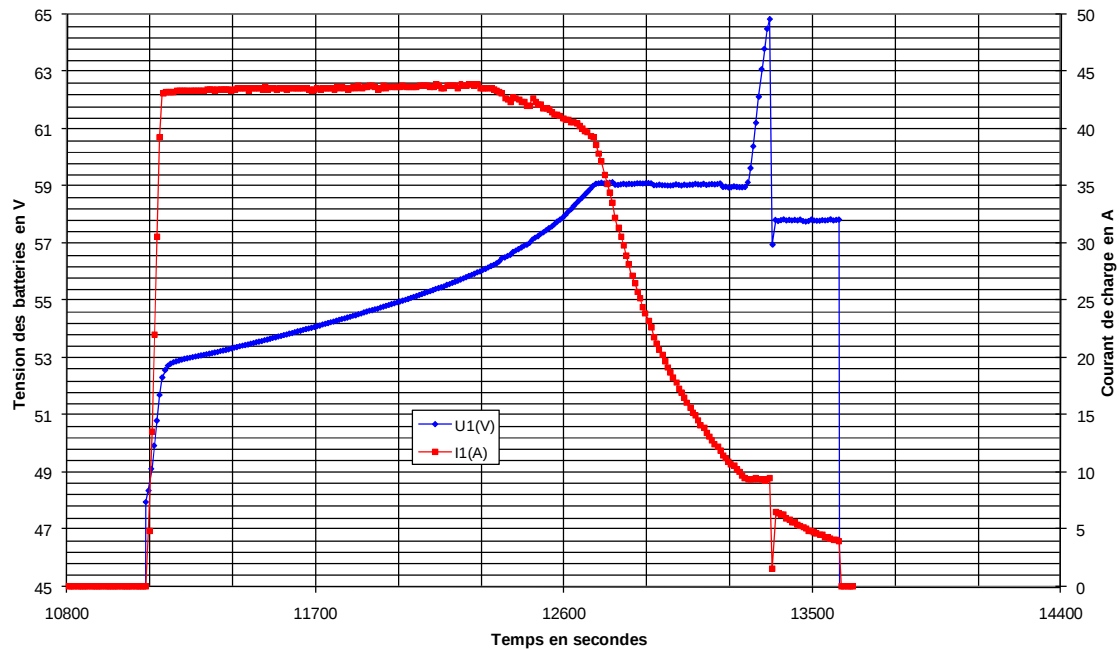


Fig. 92. Courbes de charges du chargeur SPE 48V 40A (Chargeur-SPE-48V-40A.xls).

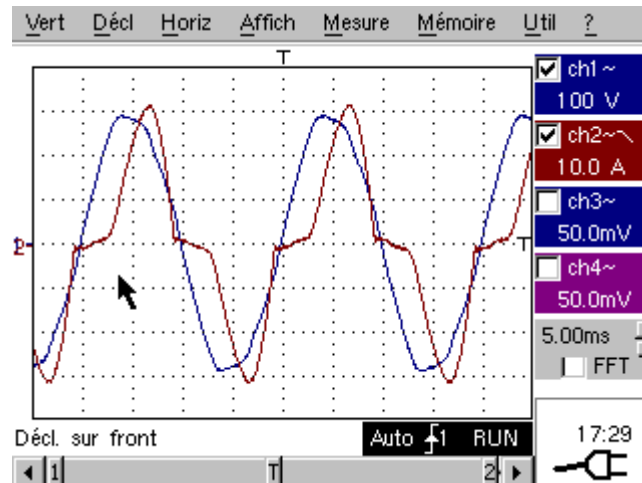


Fig. 93. Tension secteur et courant de ligne du chargeur SPE 48V 40A (160509_172940-00.bmp).

	Tension efficace	Haute tension	Condensateur	Courant	Courant efficace	Courant maximal	Durée de conduction	Facteur de puissance
	V_{leff} en V	V_e en V	C_e en μF	I_e en A	I_{leff} en A	I_{1max} en A	ΔT en ms	FP
Théorique	230	270	1291	10,47				
Simulée	223,6	269	1300	10,5	15,84	31,0	5,715	0,797
Mesurée	207	xx	xx	xx	16,72	30,21	xx	0,82

Fig. 94. Synthèse des mesures pour un chargeur SPE 48V 40A.

La puissance utile est de 2379W. La puissance absorbée est de 2848W, pour une puissance apparente de 3460VA. Le rendement est de 83,5%.

4.11 Chargeur 48V 50A – Speedomax 48V 50A

Le modèle présenté ici est un chargeur de marque SPEEDOMAX DOLPHIN, 48V 50A [6].



Fig. 95. Le chargeur SPEEDOMAX, 48V 50A [6].

Avec V_s la tension aux bornes de la batterie et I_s le courant de sortie du chargeur, la puissance de sortie vaut :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (31)$$

A partir de l'expression du rendement du convertisseur $\eta = \frac{P_s}{P_e}$, la valeur du courant d'entrée est donnée par :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (32)$$

Le tableau suivant présente les différentes puissances mises en jeux pour 4 batteries, ainsi que le courant équivalent coté redresseur haute tension.

Tension	Courant	Puissance	Rendement	Haute tension	Courant
V_s en V	I_s en A	P_s en W	en %	V_e en V	I_e en A
54,4	50	2720	90%	270	11,193
56,8	50	2840	90%	270	11,687
60	50	3000	90%	270	12,346
64	50	3200	90%	270	13,169

Fig. 96. Puissance transmise et courant d'entrée du convertisseur 48V 50A (AN-Calculs.xls / Batteries).

En fixant l'ondulation aux bornes du condensateur de filtrage d'entrée, la valeur du condensateur se calcule à partir de l'expression suivante :

$$C_e = \frac{I_e}{2 \times F \times \Delta V_e} \quad (33)$$

avec $F = 50$ Hz la fréquence du réseau d'alimentation électrique.

Haute tension	Ondulation	Ondulation	Courant	Condensateur
V_e en V	en %	ΔV_e en V	I_e en A	C_e en μF
270	40%	108,000	11,193	1036
270	40%	108,000	11,687	1082
270	40%	108,000	12,346	1143
270	40%	108,000	13,169	1219

Fig. 97. Valeur du condensateur d'entrée du convertisseur 48V 50A (AN-Calculs.xls / Batteries).

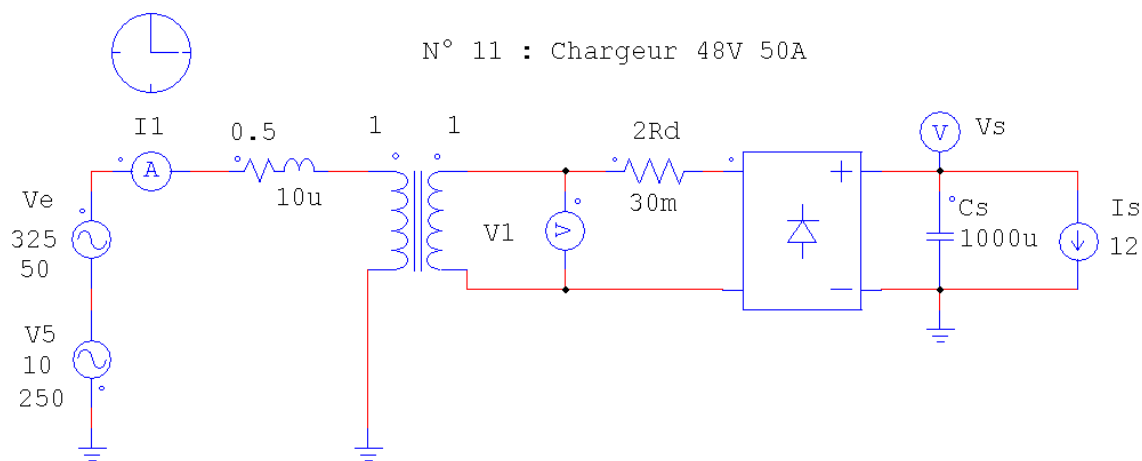


Fig. 98. Le schéma de la simulation SIMCAD pour un chargeur 48V 50A.

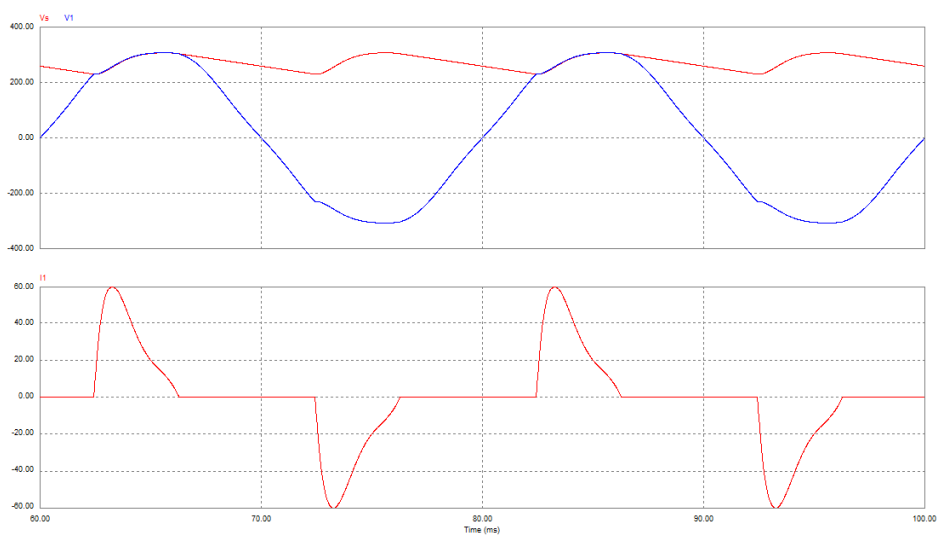


Fig. 99. Résultats de la simulation SIMCAD pour un chargeur 48V 50A.

Date : mardi 30 juin 2009 - 14 h 38min 54s pour $\Delta T = 14403$ s.

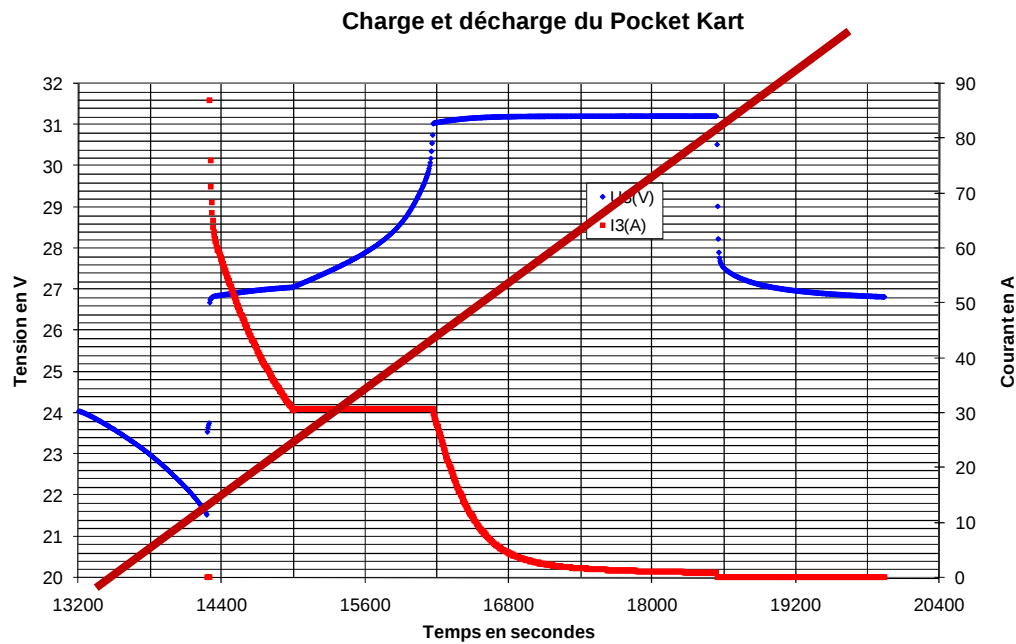


Fig. 100. Courbes de charges du chargeur 48V 50A (xxx.xls).

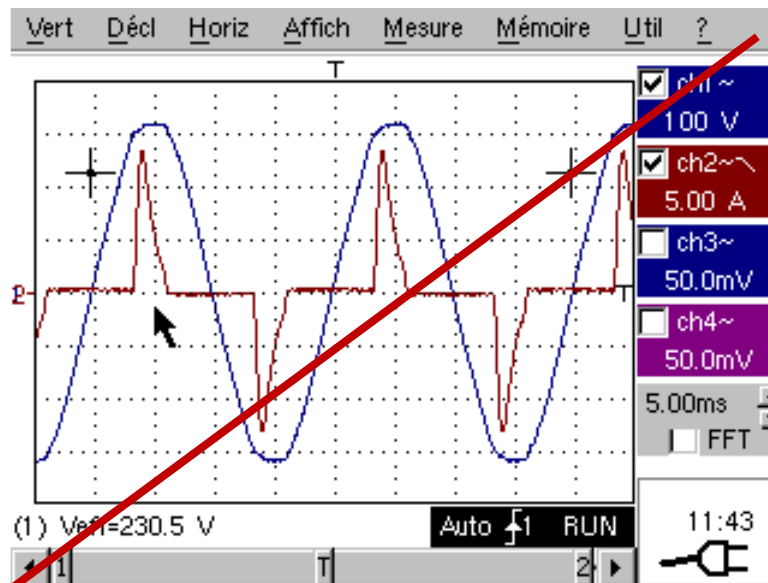


Fig. 101. Tension secteur et courant de ligne du chargeur 48V 50A (xxx.bmp).

	Tension efficace	Haute tension	Condensateur	Courant	Courant efficace	Courant maximal	Durée de conduction	Facteur de puissance
	V_{1eff} en V	V_e en V	C_e en μF	I_e en A	I_{1eff} en A	I_{1max} en A	ΔT en ms	FP
Théorique	230	270	1143	12,3				
Simulée	222	272	1000	12,0	22,6	60,0	3,88	0,650
Mesurée	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx

Fig. 102. Synthèse des mesures pour un chargeur 48V 50A.

La puissance utile est de xxW. La puissance absorbée est de xxW, pour une puissance apparente de xxVA. Le rendement est de xx%.

4.12 Chargeur 48V 95A – ZIVAN NG5 48V 95A

Le modèle présenté ici est un chargeur de marque ZIVAN NG5, 48V 95A [9].



Fig. 103. Le chargeur ZIVAN NG5, 48V 95A [9].

Avec V_s la tension aux bornes de la batterie et I_s le courant de sortie du chargeur, la puissance de sortie vaut :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (34)$$

A partir de l'expression du rendement du convertisseur $\eta = \frac{P_s}{P_e}$, la valeur du courant d'entrée est donnée par :

$$P_s = V_s \times I_s \quad (35)$$

Le tableau suivant présente les différentes puissances mises en jeux pour 4 batteries, ainsi que le courant équivalent coté redresseur haute tension.

Tension	Courant	Puissance	Rendement	Haute tension	Courant
V_s en V	I_s en A	P_s en W	en %	V_e en V	I_e en A
54,4	95	5168	90%	530	10,834
56,8	95	5396	90%	530	11,312
60	95	5700	90%	530	11,950
64	95	6080	90%	530	12,746

Fig. 104. Puissance transmise et courant d'entrée du convertisseur 48V 95A (AN-Calculs.xls / Batteries).

Dans le cas d'une alimentation triphasée et en fixant l'ondulation aux bornes du condensateur de filtrage d'entrée, la valeur du condensateur se calcule à partir de l'expression suivante :

$$C_e = \frac{I_e}{2 \times 3 \times F \times \Delta V_e} \quad (36)$$

avec $F = 50$ Hz la fréquence du réseau d'alimentation électrique.

Haute tension	Ondulation	Ondulation	Courant	Condensateur
V_e en V	en %	ΔV_e en V	I_e en A	C_e en μF
530	20%	106,0	10,834	341
530	20%	106,0	11,312	356
530	20%	106,0	11,950	376
530	20%	106,0	12,746	401

Fig. 105. Valeur du condensateur d'entrée du convertisseur 48V 95A (AN-Calculs.xls / Batteries).

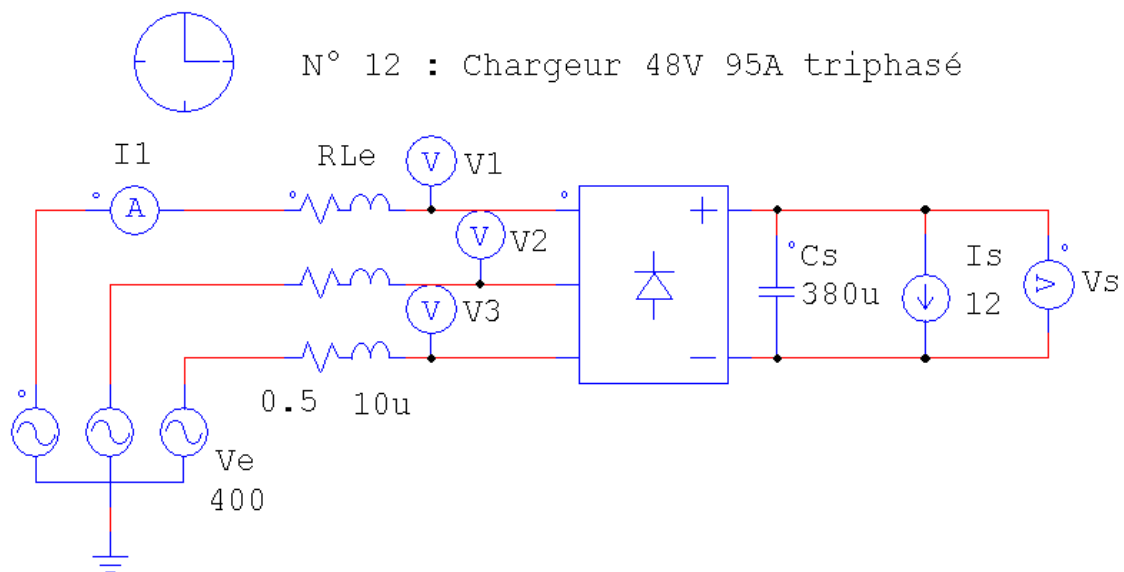


Fig. 106. Le schéma de la simulation SIMCAD pour un chargeur triphasé 48V 95A.

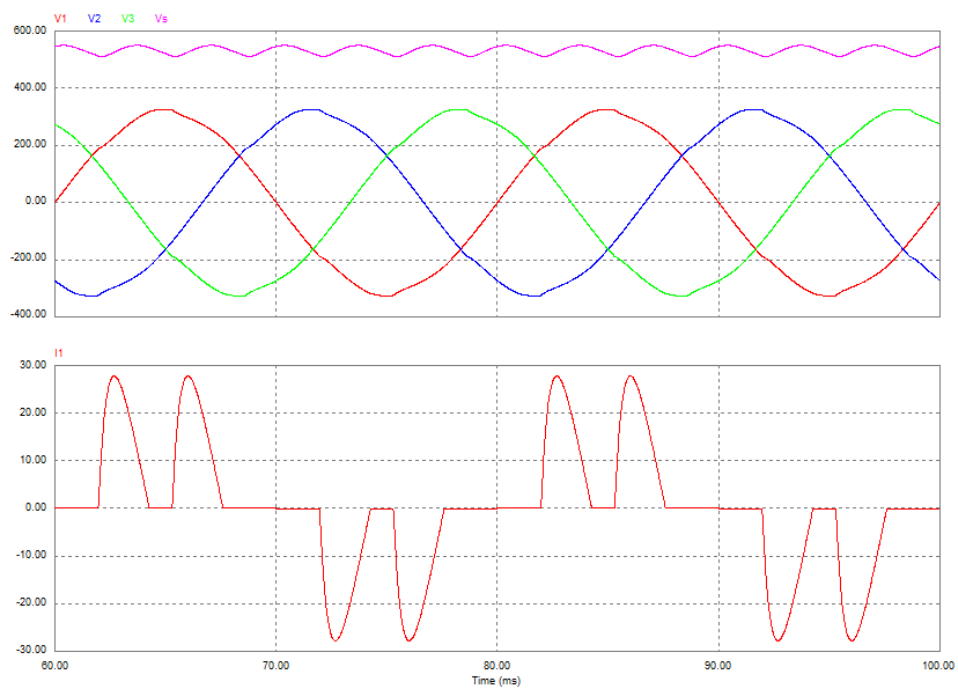


Fig. 107. Résultats de la simulation SIMCAD pour un chargeur triphasé 48V 95A.

Date : mardi 30 juin 2009 - 14 h 38min 54s pour $\Delta T = 14403$ s.

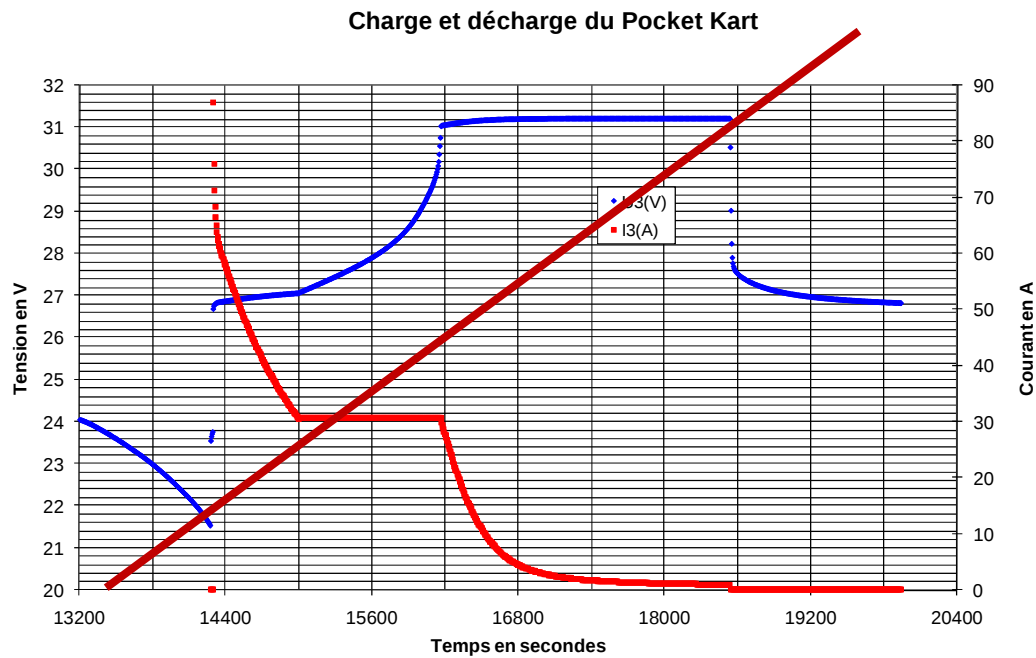


Fig. 108. Courbes de charges du chargeur triphasé 48V 95A (xxx.xls).

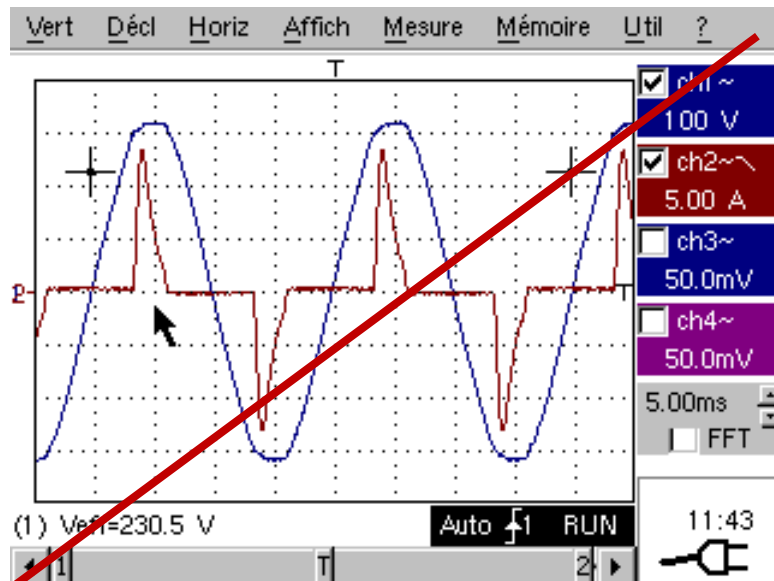


Fig. 109. Tension secteur et courant de ligne du chargeur triphasé 48V 95A (xxx.bmp).

	Tension efficace	Haute tension	Condensateur	Courant	Courant efficace	Courant maximal	Durée de conduction	Facteur de puissance
	V_{1eff} en V	V_e en V	C_e en μF	I_e en A	I_{1eff} en A	I_{1max} en A	ΔT en ms	FP
Théorique	230	530	376	11,95				
Simulée	226	532	380	12,00	13,1	27,8	2,35	0,650
Mesurée	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx

Fig. 110. Synthèse des mesures pour un chargeur triphasé 48V 95A.

La puissance utile est de xxW. La puissance absorbée est de xxW, pour une puissance apparente de xxVA. Le rendement est de xx%.

5 Conclusions

La connexion des chargeurs de puissance sur le réseau EDF nécessite de prendre quelques précautions. L'échauffement de la prise 16A est à surveiller en cas d'usage intensif. Le choix du disjoncteur de ligne est important.

Aux vues des puissances mise en jeux, l'utilisation d'un Correcteur de Facteur de Puissance permettrait une meilleure utilisation des prises classiques 16A. L'utilisation de prise plus puissante est largement conseillée : 20A, 25A ou 32A monophasée ou triphasée.

6 Bibliographie

- [1] Site web <http://www.e-kart.fr>, consulté le 26 avril 2009.
- [2] Site web <http://www.powersimtech.com>, consulté le 26 avril 2009.
- [3] Site web <http://www.ctek.com>, consulté le 26 avril 2009.
- [4] Site web <http://www.centradis.fr>, le 26 avril 2009.
- [5] Site web <http://www.tecsup.fr>, le 17 juillet 2009.
- [6] Site web <http://www.speedomax.fr>, consulté le 26 avril 2009.
- [7] Site web <http://www.gys.fr>, consulté le 17 juillet 2009.
- [8] Site web <http://www.atibeletronica.it>, consulté le 26 avril 2009.
- [9] Site web <http://www.zivan.it>, consulté le 26 avril 2009.
- [10] Site web <http://www.excelsys.com/>, consulté le 17 juillet 2009.
- [11] Site web <http://www.spe.com/>, consulté le xx juillet 2009.
- [12] Site web <http://www.thierry-lequeu.fr>, consulté le 26 avril 2009.
- [13] Site web <http://www.exide.com>, le 26 avril 2009.
- [14] Site web <http://www.optima.com>, le 26 avril 2009.
- [15] J. ROBERT, J. ALZIEU, [D3351], *Accumulateurs - Considérations théoriques*, Techniques de l'Ingénieur, Traité Convertisseurs et machines électriques, novembre 2004, 11 pages, [PAP556].
- [16] J. ROBERT, J. ALZIEU, [D3352], *Accumulateurs - Accumulateurs au plomb*, Techniques de l'Ingénieur, Traité Convertisseurs et machines électriques, novembre 2004, 14 pages, [PAP596].
- [17] R. MOSDALE, [D5565], *Transport électrique routier - Batteries pour véhicules électriques*, Techniques de l'Ingénieur, Traité Génie électrique, février 2003, 21 pages, [PAP531].
- [18] J.-P. FERRIEUX, F. FOREST, *Alimentations à découpage - Convertisseurs à résonance*, DUNOD, 3e édition revue et augmentée, 1999.

7 Annexes

Mettre le moins possible de feuille en annexe, afin d'économiser les feuilles et donc les arbres de notre planète.

Les documentations de composants en fichier PDF sont à mettre en références, avec leurs localisations sur internet et le date de dernière consultation (date de validité du lien web).