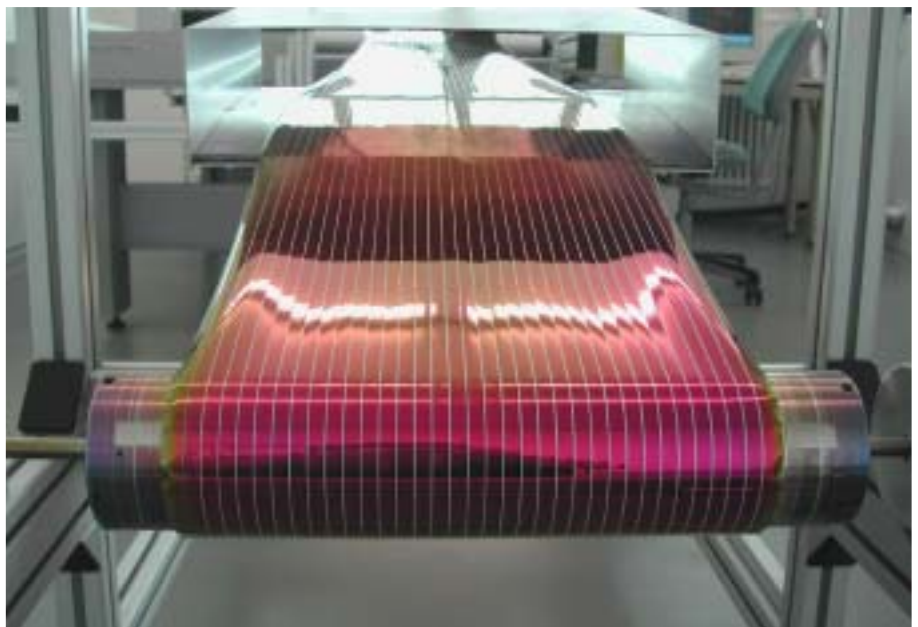


Rapport final, DIS 100540 / 150666, Février 2005

Ligne pilote de fabrication de cellules solaires

élaboré par
Diego Fischer, Yvan Ziegler, Alexandre Closset
VHF - Technologies SA
Av. des Sports 18, 1400 Yverdon-les-Bains



Mandataire principal:



VHF-Technologies SA
Av. des Sports 18
1400 Yverdon-les-Bains

Personne de contact:
Alexandre Closset
+41 24 423 04 91
alexandre.closset@flexcell.ch

Partenaire du projet:



EIAJ (Ecole d'Ingénieurs de l'Arc Jurassien)
7 av. de l'Hôtel-de-Ville
2400 Le Locle

Personne de contact:
Prof. Dr. Herbert Keppner
+41 32 930 13 64
herbert.keppner@arc-he.ch

Résumé

Le but du projet est la réalisation d'une ligne pilote de fabrication de cellules solaires en silicium amorphe sur substrat plastique avec une capacité annuelle de 40 kW_{crête}.

Sur toutes les étapes clefs du procédé de fabrication, d'importantes améliorations et augmentations de capacité ont été réalisées, notamment :

- Le dépôt en continu par le procédé VHF de la cellule n-i-p en silicium amorphe avec une capacité de 28m en 8.5h.
- La structuration du contact supérieur (TCO) avec un procédé 100% continu.
- La mise en série avec une cadence de 28m en moins de 6h.
- La pulvérisation du contact arrière et de l'ITO par trois cibles en simultané
- L'intégration d'un laminateur de grande surface qui permet l'encapsulation de 4 modules de 4W_c par cycle.

En conclusion, toutes ces étapes de fabrication ont, à la fin de ce projet, atteint une capacité équivalente de 40 kW_{crête} annuelle.

En outre, un travail ciblé sur la productivité et les capacités de production des différentes étapes a permis d'établir un nouveau modèle de coût détaillé. Ce modèle permet de mieux guider et anticiper le développement industriel de la société.

Grâce aux résultats probants de ce projet, VHF-Technologies a convaincu ses investisseurs de financer une nouvelle étape, qui consiste à regrouper toute la ligne de production pilote sur le site d'Yverdon-les-Bains, ainsi que d'investir dans de nouveaux équipements qui permettront de pousser la capacité à 100kW_c par an.

Summary

The goal of this project is the implementation of a pilot line for the fabrication of a-Si solar cells on plastic film substrate with an annual capacity of 40 kW_{peak}. While working on all main fabrication steps, the following developments and capacity increases have been realised:

- Continuous coating of n-i-p solar cells by VHF-PECVD with a capacity of 28.5m in 8.5 hours
- TCO top contact structuring with a fully continuous process
- Series connection step (scribing and Ag-paste) with a capacity of 28m in 6 hours
- Back and Top contact sputtering with 3 parallel magnetrons
- Integration of a large area vacuum laminator enabling the simultaneous lamination of 4 products of 4 W_{peak}.

In conclusion, all process steps have reached or even exceeded the target capacity of 40 kW_{peak}.

Also, in parallel with this project, a very complete cost model was established by VHF-Technologies, enabling a more quantitative approach of the future technological and industrial strategy of the company.

As an effect of the good technological results of this project, VHF-Technologies was now able to convince its investors to launch a new industrial phase with the goal of moving the front-end fabrication from Le Locle to Yverdon and to invest in new equipments and process improvements to reach 100 kW_{peak} capacity by summer 2005.

Table des matières

1. Contexte et motivation du projet.....	5
2. Description des aménagements et des tâches du projet.....	6
3. Résultats.....	10
3.1. WP1 (métallisation) et WP 4 (ITO).....	10
3.2. WP2 (nouvelle électrode VHF)	11
Concept	11
Chronologie.....	11
Performances.....	12
3.3. WP3 (traçage en roll-to-roll).....	13
3.4. WP4 (ITO).....	15
3.5. WP5 et WP6 (mise en série)	15
Rayure mécanique	15
Dispense de la pâte d'argent	15
Résultat complet pour la mise en série.....	16
3.6. WP7 (encapsulation).....	17
4. Conclusions et perspectives	20

1. Contexte et motivation du projet

VHF-Technologies SA est une entreprise start-up issue de l'IMT de l'université de Neuchâtel. Grâce aux résultats de recherche de pointe du Professeur Arvind Shah, VHF-Technologies a levé plus de six millions de francs de capitaux privés dans le but de réaliser, en Suisse, une production pilote de cellules photovoltaïques d'une nouvelle génération.

Après avoir lancé la commercialisation d'un chargeur solaire portable (www.flexcell.ch) au mois d'août 2003, la demande pour ce produit s'est rapidement confirmée pour des volumes pouvant atteindre 10'000 pièces par an.

A long terme (2007-2010), la vision de VHF-Technologies et de ses investisseurs est d'atteindre un coût de cellules proche de \$1/Watt, et ceci grâce à l'utilisation de matériaux bons marchés (silicium amorphe, films plastiques), combinés à des technologies de fabrication performantes et économiques (procédés continus en roll-to-roll, dépôt rapide par plasma très haute fréquence VHF).

Depuis sa fondation en février 2000, VHF-Technologies SA a développé la technologie pour la fabrication de cellules solaires en silicium amorphe sur substrat film plastique. A présent, la faisabilité de toutes les étapes du procédé de fabrication a été démontrée. En outre, un chargeur solaire universel et enroulable ainsi qu'une ligne de produit OEM de faible puissance ont été développés.



Figure 1 : Cellules solaires brutes sur film polyimide 30 cm de large (état après dépôt ITO)

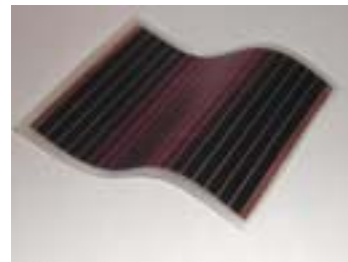


Figure 2 : Module solaire flexible 2 Watt pour le marché OEM (après encapsulation)



Figure 3 : Chargeur solaire enroulable FlexRoll (500gr / 4 Watt)



Figure 4 : Première livraison de 50 chargeurs FlexRoll en août 2003

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Depuis août 2003, VHF-Technologies occupe des locaux industriels à Yverdon-les-Bains dans le but d'y finaliser sa ligne pilote de production. Afin d'arriver à une véritable production pilote fiable, VHF-Technologies se lance maintenant dans un programme de développement et d'investissement sur 6 mois pour atteindre une capacité annuelle de 10'000 chargeurs solaires par an, ce qui correspond à environ 40 kWc/année.

2. Description des aménagements et des tâches du projet

Capacité cible

La capacité cible à atteindre par la ligne pilote est de 10'000 modules flexibles de 30cm x 60cm par an. La largeur de production de VHF-Technologies étant de 30cm, la fabrication des 10'000 modules de 60cm de long nécessite une production de 6000 mètres de cellules solaire, correspondant à 30 mètres par jours sur 200 jours.

Procédé de fabrication / étapes et capacités:

Le procédé de fabrication des cellules solaires flexibles de VHF-Technologies peut être séparé en trois sections principales: la métallisation (préparation du substrat), le front-end (dépôt de la cellule), et le back-end (fabrication des modules).

La métallisation et le front-end sont installés sur le site de l'EICN au Locle. Comme ces deux sections utilisent les mêmes infrastructures (ink, PVD, lift-off), ils ne peuvent pas produire en même temps. Un bon compromis d'utilisation est réalisé si la métallisation fonctionne pendant 10% des jours de fabrication, en produisant 300m de film métallisé par jour, en alternance avec 90% des jours de production front-end avec une capacité de 30m de film par jour. Les capacités cibles du présent projet ont donc été défini par:

Métallisation: 300m par jour

Front-end: 30 m par jour

Le back-end, qui comprend la mise-en série, l'encapsulation et le test final des modules, doit être capable d'absorber la production totale du front end, c'est à dire 30m / jours, soit 50 modules de 4Wc par jour.

Back-end: 30m ou 50 modules par jour

Métallisation

La métallisation est l'étape de dépôt par PVD de plusieurs couches métalliques combinées. Avant le projet, une seule cible de pulvérisation cathodique était utilisée à la fois ; par conséquent la fabrication était limitée à environ 100m/par jour. Dans le WP1, la machine PVD est équipée avec 3 cibles pouvant fonctionner simultanément, ce qui triple la capacité pour atteindre la valeur visée de 300 m/jour.



capacité de production initiale	10cm/s 6 m/min 300m /0.8 h	0.2 m / min 300m / 25 h	0.5 m/min 300m / 10h
capacité de production nécessaire		0.6 m / min 300 m / 8.3h	
workpackage		WP1	

Front end

Le processus front-end consiste à déposer, sur un substrat préalablement métallisé et structuré, la cellule proprement dite, le contact supérieur ainsi que la structuration de ce dernier ; il en résulte des rouleaux de modules semi-finis (toutes les couches déposées, mais sans la mise en série). Pour atteindre la capacité cible, un lot de 30m de film doit être traité journalièrement. Comme la production front-end a lieu sur le site de l'EICN au Locle, le but est que la production puisse être réalisée par une seule personne durant une journée de travail normale. Cela est possible si les temps de chaque étape sont suffisamment courts, et si toutes les étapes sont continues, sans intervention manuelle pendant le traitement d'un lot. Pour atteindre ce but, il faut accélérer sensiblement le dépôt du silicium (WP2). Ceci est réalisé par une nouvelle électrode VHF de plus grande taille, et par un doublement de la puissance du plasma.

Le traçage du film pour le lift-off ("ink") de l'ITO était au début du projet une opération manuelle, en mode batch. Dans le WP3, ce goulot d'étranglement est éliminé en transférant cette étape sur la bobineuse, qui peut traiter un lot de film en 30min en mode continu.

Le dépôt de l'ITO, le lendemain du dépôt, est également doublé en vitesse (WP4), ce qui est réalisable grâce à l'utilisation parallèle de deux magnétons, alimentés par les mêmes sources utilisées dans le procédé de métallisation. Ainsi, le dépôt de l'ITO et le procédé lift-off suivant peuvent être réalisés dans la même journée de travail.



capacité de production initiale	10cm/s 6 m / min 30m / 0.1 h	12 m / 8h	5 m / h (batch)	30 m / 12 h	1 m / min 30 m / 0.5 h
capacité production nécessaire		30 m / 8h	1 m/min 30 m / 0.5 h (continu)	30 m / 6 h	
workpackage		WP2	WP3	WP4	

Aménagement Le Locle / EICN (Métallisation et Front-end):

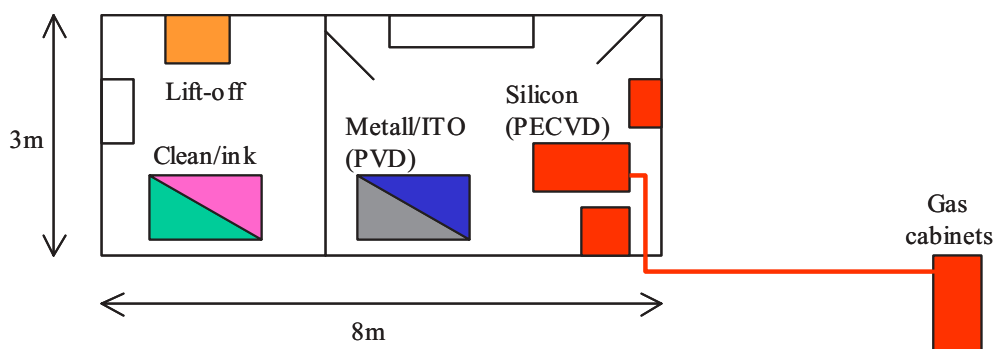




Figure 5: Front-end (Le Locle): réacteur plasma-CVD VHF pour le dépôt de silicium amorphe en roll-to-roll. La capacité de ce réacteur sera augmentée de 150% dans le présent projet (WP2).



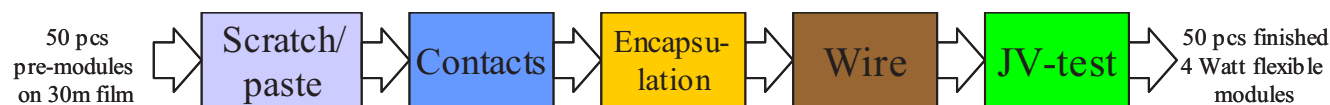
Figure 6: Front-end (Le Locle): réacteur de pulvérisation cathodique. Dans ce projet, la capacité de production sera augmentée de 200% pour la fabrication de la métallisation (WP1), et de 100% pour la fabrication de l'ITO (WP3).

Back end

La production back-end, installée dans les nouveaux locaux de VHF-Technologies SA à Yverdon, consiste à transformer 30 m de modules semi-finis sur rouleau en 50 modules solaires de 60cm de long.

L'étape limitative est la mise en série, qui consiste en une structuration mécanique, suivies par l'application de lignes de pâte conductrice ("scratch-pâte"). Cette opération se fait sur un plotter x-y : ici, une réduction par un facteur 2 du temps pris par chaque étape (WP5: alignement optique et rayure, WP6: déposition de la pâte) est nécessaire pour atteindre la capacité cible.

L'encapsulation des modules, qui se fait pièce par pièce, devait aussi être accélérée: ceci est réalisé par un laminage de plusieurs produits dans un seul batch (WP7). En plus, des aides mécaniques d'assemblage sont mise en œuvre dans ce WP afin de réduire les temps des étapes manuelles en amont de la lamineuse.



capacité de production initiale	2.4 m / h 30m / 12 h	4 min/module 3.3 h/ 50 mod (manuel)	0.6 m /12 min 30 m / 10 h (batch)	6 min /mod 5 h/ 50 mod. (manuel)	2 min / module 1.6 h / 50 mod. (manuel)
capacité production nécessaire	4.8 m / h 30m / 6 h		3 m/12 min 30 m / 2 h (batch)		
workpackage	WP5 WP6		WP7		

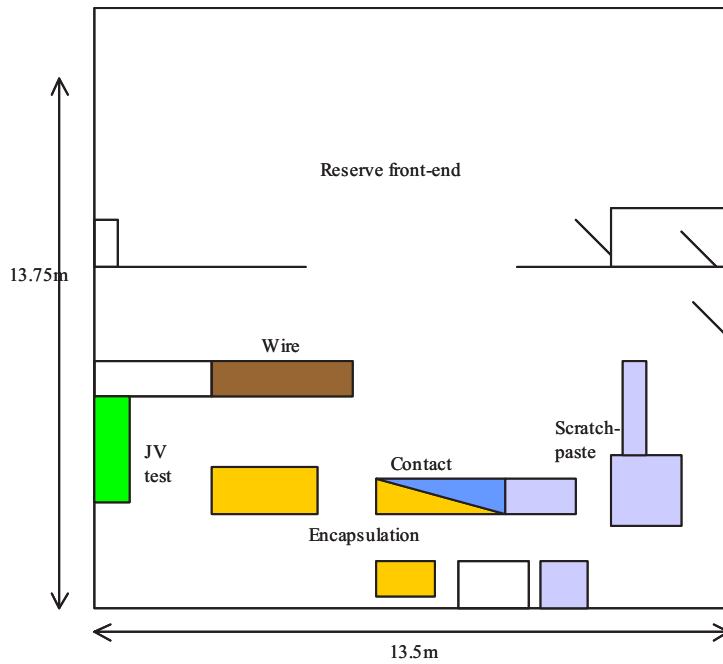
Aménagement Yverdon / St-Roch (back-end)

Figure 7: Back-end (Yverdon): plotter X-Y pour la mise en série (scratch + pâte) des modules solaires. La qualité (rendement de production) et la capacité de cette étape seront améliorées dans les WP5 et 6.



Figure 8: Back-end (Yverdon): zone d'encapsulation (laminage, WP7) et de test final (simulateur solaire) des modules solaires flexibles.

3. Résultats

3.1. WP1 (métallisation) et WP 4 (ITO)

Ces points concernent l'augmentation de la capacité pour les deux étapes de pulvérisation cathodique, qui sont la métallisation (contact arrière) et la couche ITO (contact transparent). Dans ce Work Package, l'augmentation de la capacité annuelle à 40kW_c est réalisée par le passage de la pulvérisation à partir d'une seule cible à une pulvérisation simultanée à partir de deux voir trois cibles.

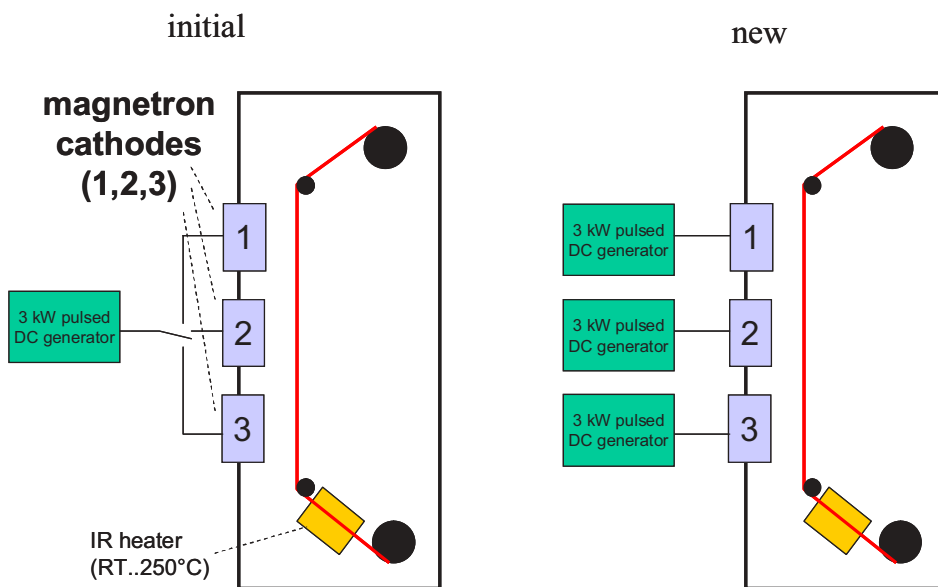


Figure 9: Gauche: arrangement original du système de pulvérisation avec un générateur DC; droite: arrangement nouveau avec 3 générateurs et 3 magnétrons.



Figure 10: Machine de pulvérisation cathodique (PVD) roll-to-roll

Résultats pour la métallisation (WP1)

La capacité cible de 300 m/jour est atteinte en utilisant les trois cathodes en simultané, ce qui permet de réaliser la double couche métallique (couche fine d'adhésion et couche épaisse de conducteur) dans un seul passage..

	Cathode 1	Cathode 2	Cathode 3	Total
Situation initiale	Métal 1 (premier passage 0.56 m/min)	Métal 2 (deuxième passage 0.28 m/min)		0.19 m/min
Situation février 2005	Métal 1	Métal 2	Métal 2	0.56 m/min
Valeur cible du projet				0.60 m/min (300m/8.3 h)

Résultats ITO (WP4)

La capacité cible du projet est atteinte avec deux cathodes; elle est dépassée de 40% en utilisant tous les trois cathodes.

	Cathode 1	Cathode 2	Cathode 3	Total
Situation initiale	ITO (0.04 m/min)			0.04 m/min
Situation novembre 2004	ITO	ITO		0.08 m/min
Avec 3 ^{ème} magnétron février 2005	ITO	ITO	ITO	0.12 m/min
Valeur cible du projet				0.083 m/min (30m/6h)

3.2. WP2 (nouvelle électrode VHF)

Concept

Le passage électrique RF a été conçu de manière à minimiser les contaminations dues à son isolation et pour faciliter la maintenance en augmentant sa fiabilité mécanique lors du démontage.

La taille active de l'électrode VHF a été augmentée de 45cm x 40cm à 56cm x 44cm, tout en permettant d'augmenter la puissance du plasma.

Le nettoyage par plasma SF₆ a été entièrement supprimé grâce à l'introduction de pièces d'électrode VHF rapidement démontables et nettoyées par sablage.

Chronologie

Lors de cette tâche extrêmement délicate (perte des paramètres du procédé) et très dangereuse pour l'activité commerciale de la société (arrêt total de la production), l'équipe

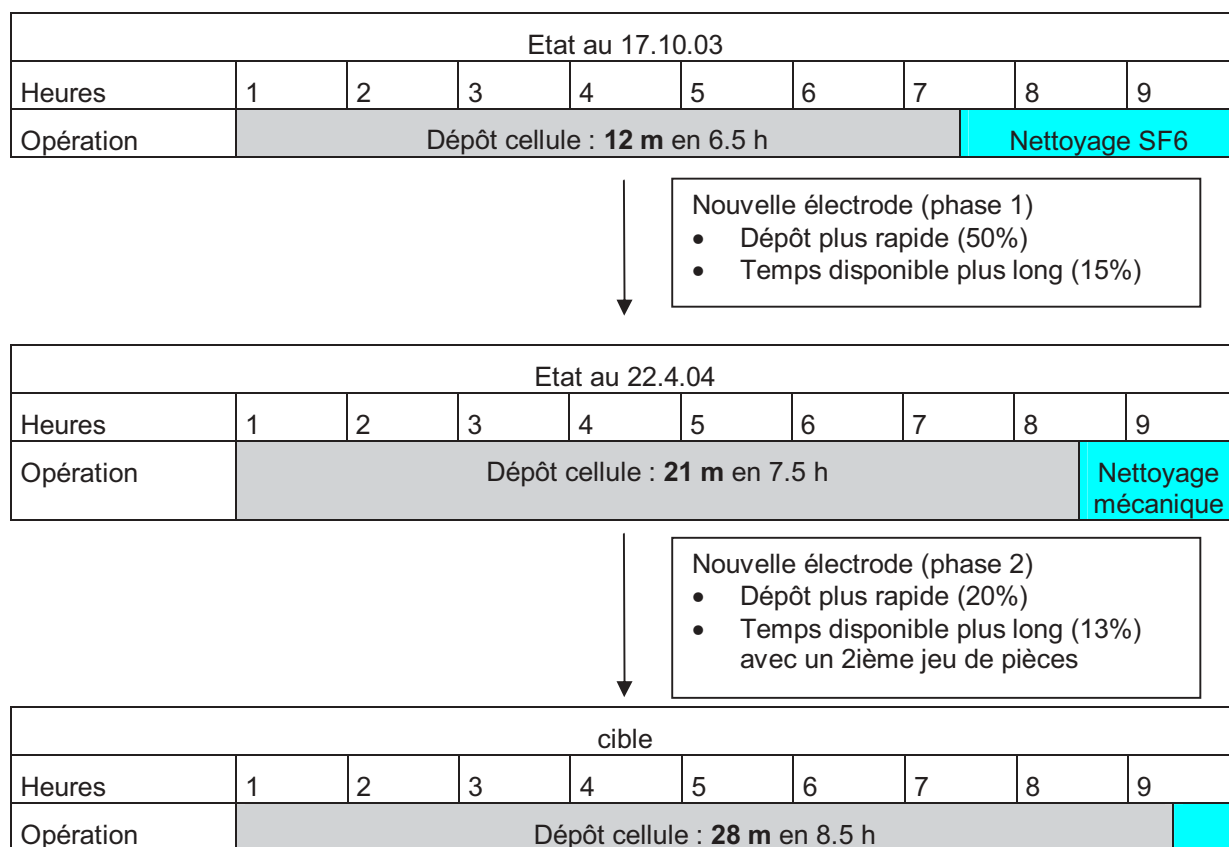
technoscientifique de VHF-Technologies a fait preuve d'un professionnalisme et d'une rapidité d'exécution remarquable au point que la chronologie du changement d'électrode mérite d'être mentionnée dans ce rapport :

- La finalisation du concept et la construction de la nouvelle électrode VHF ont eu lieu entre le 03.11.03 et le 12.12.03.
- Sa mise en place a été réalisée pendant la période du 19.12.03 au 05.01.04.
- Le 1^{er} dépôt a été effectué le 07.01.04.
- La reprise de la production pour l'activité commerciale était effective le 27.01.04.
- L'optimisation de la nouvelle électrode a été finalisée le 01.02.04 après une légère modification pour augmenter l'uniformité de la température.

Performances

Suite à la mise en place de la nouvelle électrode VHF, le premier gain de temps de production provient de la suppression du plasma SF6 qui était nécessaire pour nettoyer l'électrode après chaque dépôt de silicium. Le deuxième gain en productivité a été obtenu grâce à la vitesse de dépôt du silicium multipliée par 1.5 grâce à une puissance de plasma accrue. Enfin, un deuxième jeu d'électrodes nouvelle configuration nous a permis de faire une rotation (process/sablage) optimale afin d'approcher la capacité visée dans le cadre de ce projet.

Ces améliorations successives sont illustrées dans le schéma ci-dessous :



La capacité finale atteinte est environ 10% inférieure à celle visée par le présent projet. En effet, avec une trop grande puissance de plasma, la qualité de la couche mince de silicium amorphe décroît fortement et le rendement final du module est moins bon.

En revanche, avec les paramètres de dépôt mentionnés ci-dessus et grâce à la suppression de la contamination due au SF6 résiduel, la performance générale des cellules solaires fabriquées avec les nouvelles électrodes VHF est meilleure que notre précédent standard. Quantitativement on peut dire que le Voc et le FF sur nos cellules de référence sont passés de respectivement 850mV et 61% à 870mV et 63% en moyenne.

Finalement, le gain le plus important est d'ordre écologique, puisque le SF6 est connu pour être fatal à la couche d'ozone.

3.3. WP3 (traçage en roll-to-roll)

Avant le présent projet, la préparation de la structuration du contact supérieur (TCO) était effectuée sur une table A0 par batch de 1.2 m de longueur en 10 minutes.

Le design étant relativement simple, car composé de lignes verticales et horizontales (voir figure 9), la possibilité d'effectuer cette étape en continu a rapidement été mise en évidence.

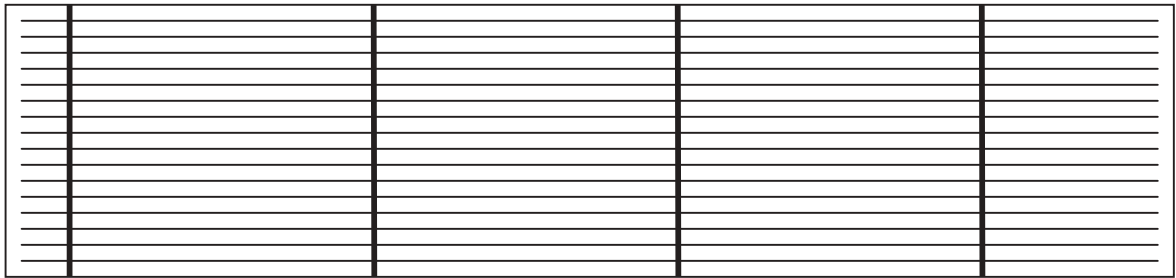


Figure 11: Design type composé de ligne horizontales (généralement 34 traits fins d'environ 0.2-0.3mm) et de lignes verticales (largeur environ 1-1.2mm, espacées de 50 à 600mm).

Dans une première phase, nous avons établi une procédure en 2 étapes:

Etape 1 : traçage des lignes horizontales (dans le sens de la longueur du film) avec un dispositif de dispense en ligne (34 feutres espacés de 9mm). Cette étape est effectuée à une vitesse d'environ 2-3m/min avec un réglage manuel.

Etape 2 : traçage des lignes verticales (perpendiculaires au sens de la longueur du film) dont l'espacement dépend du type de module ; l'espacement est actuellement compris entre 50 et 600mm. La vitesse de cette étape est également d'environ 2-3m/min.

Par conséquent, en considérant une vitesse de 2m/min pour chaque étape, nous atteignons la valeur cible du présent projet de 30m en 30min.



Figure 12 et 13 : Machine de bobinage avec unité de traçage intégrée; droite: détail de la tête de traçage réglable

Les potentiels d'améliorations supplémentaires résident notamment dans un système de contrôle optique ainsi que dans l'automatisation du traçage des lignes verticales. Tout deux sont en cours de conception et seront réalisés dans le cadre du projet CTI No. 7013.1 « Optical nano gratings and continuous processing for improved performance flexible solar cells ».

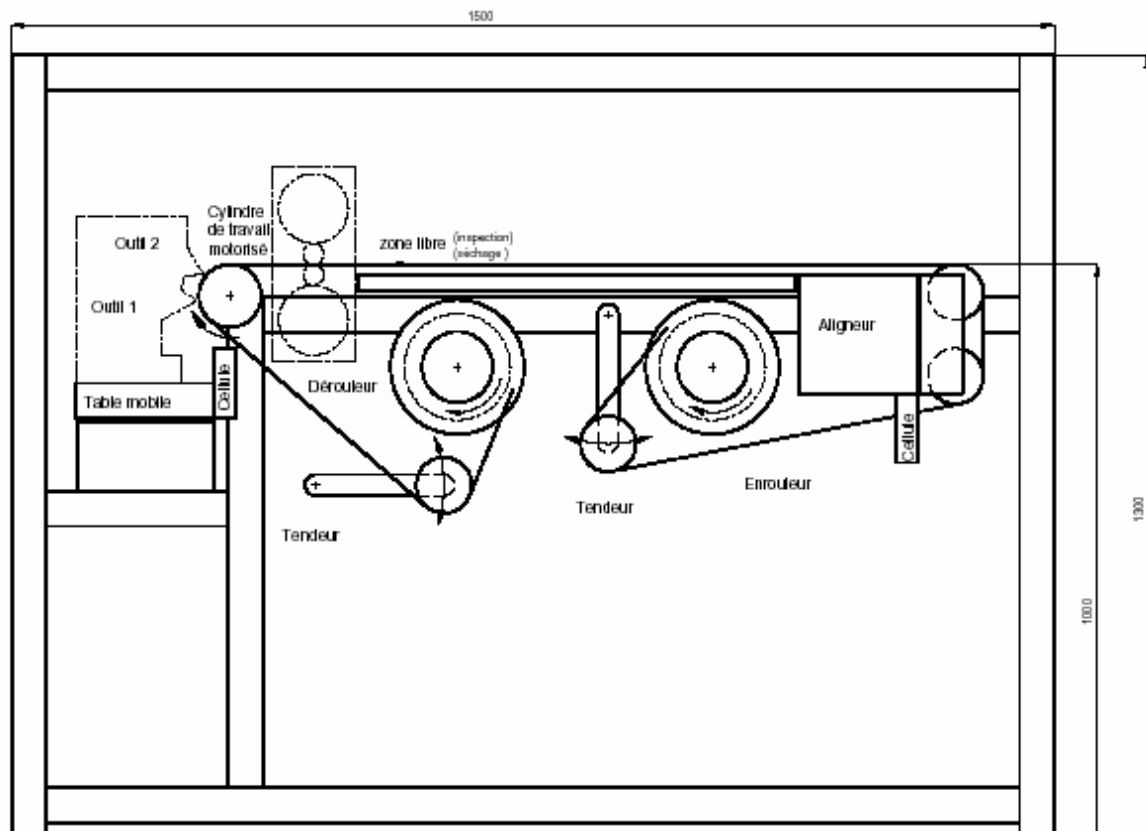


Figure 13: Dessin de la machine d'enroulement avec alignement optique pour la mise en série (traçage, rayure mécanique, etc) livrée en decembre 2004.

3.4. WP4 (ITO)

Voir WP1.

3.5. WP5 et WP6 (mise en série)

Rayure mécanique

Simultanément aux développements planifiés pour augmenter la capacité de production, il était nécessaire d'augmenter la fiabilité de cette étape clé du processus de fabrication. Ainsi, nous avons mis en place une pointe réglable qui, grâce à un long ressort applique et avec une force constante sur le film. En outre, des tests sur différents angles de pointes ont été effectués avant l'optimisation finale de la force.

En ce qui concerne l'augmentation de capacité, une nouvelle procédure a été mise en place. Celle-ci inclut une rayure sans interruption sur 1.2m de long, une optimisation du parcours de la pointe, et la suppression des débris de gravure.

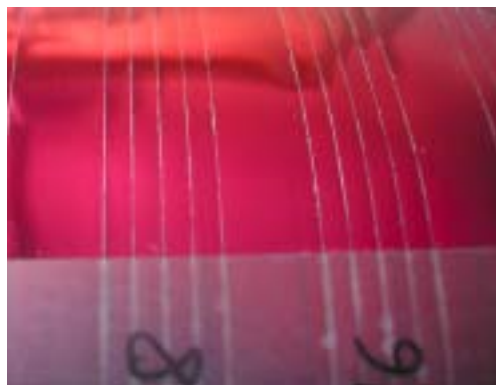


Figure 14 : Gauche: pointe de rayure mécanique avec force réglable et ressort long; droite: essais de rayures mécaniques.

Les résultats de productivité obtenus pour la rayure mécanique sont résumés dans le tableau ci-dessous :

	Vitesse d'avance	Temps par 1.2m de film
initial	5 cm/s	15 min
final	50 cm/s	3 min

Dispense de la pâte d'argent

Encore une fois, la reproductibilité a dû être améliorée parallèlement au développement de la capacité. La fiabilité du processus de dispense de la pâte d'argent est maintenant garantie par son conditionnement en continu sur un réservoir tournant, par un remplissage des seringues sans bulles et par l'absence de déchets dus à la rayure mécanique.

L'augmentation de la productivité a été atteinte d'une part grâce à une optimisation du système d'air comprimé et à un affûtage des embouts. D'autre part, suite à la finalisation et à l'optimisation des paramètres du four tunnel, le temps de séchage a été réduit à 15min par batch de 1.2m. Pour des questions de confort et de santé des opérateurs, une aspiration et une évacuation des vapeurs de solvant a aussi été installée à la sortie du four tunnel.



Figure 15 : essais de dispense de pâte d'argent à différentes vitesses

Les résultats de productivité obtenus pour la dispense de la pâte d'argent sont résumés dans le tableau ci-dessous :

	Vitesse d'avance	Temps par 1.2m de film
initial	2 cm/s	35 min
final	15 cm/s	6 min

Résultat complet pour la mise en série

Dans le but de combiner de manière optimale les deux gains de productivité précités, nous avons développé un alignement simplifié qui se fait sur le bord du film et motorisé le transport du film pour un enroulage automatique sur la longueur du batch (1.2m).

Afin de garantir la capacité visée pour cette étape de production, l'opérateur doit encore utiliser les temps cachés en préparant la pâte d'argent pendant la phase de rayure mécanique.

Les résultats de productivité obtenus pour la mise en série sont conformes au but du présent projet et sont résumés dans le tableau ci-dessous et le graphique de la figure 16:

	Temps par 1.2m de film
initial	60 min
final	<15 min

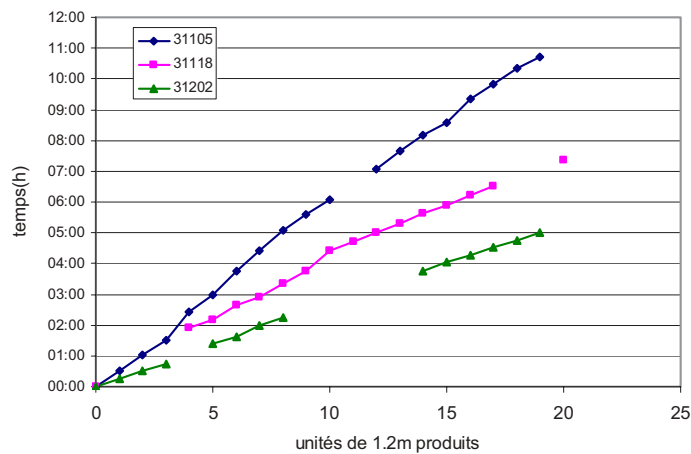


Figure 16: Amélioration du temps de production de l'étape rayure+dispense: trois lots de production de 20 x 1.2m=24m (31105, 31118, 31202): amélioration de 11h (31105) à 5h15 (31202).

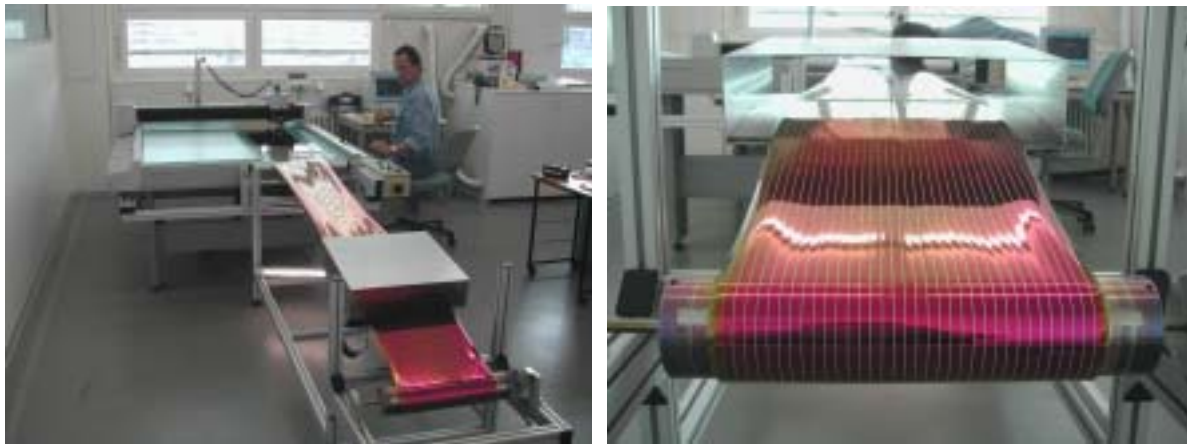


Figure 17: Station mise-en-série (rayure et pâte d'Ag), avec table X-Y, four de séchage et ordinateur de commande; droite: détail du four de séchage mobile.

3.6. WP7 (encapsulation)

Aides de production :

Dans une première phase du projet, la productivité de l'étape de lamination a été augmentée par la mise en place d'un jeu d'aides à la production pour les étapes manuelles, i.e. la préparation des laminés (contacter, premier test JV, découpe de la matière, mise ensemble des laminés) :

Une première table aspirante facilite la découpe des matériaux d'encapsulation (Figure 18), une deuxième table aspirante accélère la préparation des modules et un simulateur solaire monté sur cette dernière évite le transfert sur carton pour faire un premier contrôle qualité (Figure 19). Une bonne corrélation entre les valeurs de puissance mesurées sur la table de préparation, et entre le simulateur HQI a été vérifiée (Figure 20).



Figure 18: Table aspirante de découpe de films (premier plan), et table de préparation (arrière): surfaces vertes = surfaces d'aspiration).



Figure 19: Table de préparation des modules, avec simulateur planaire à tubes néon.

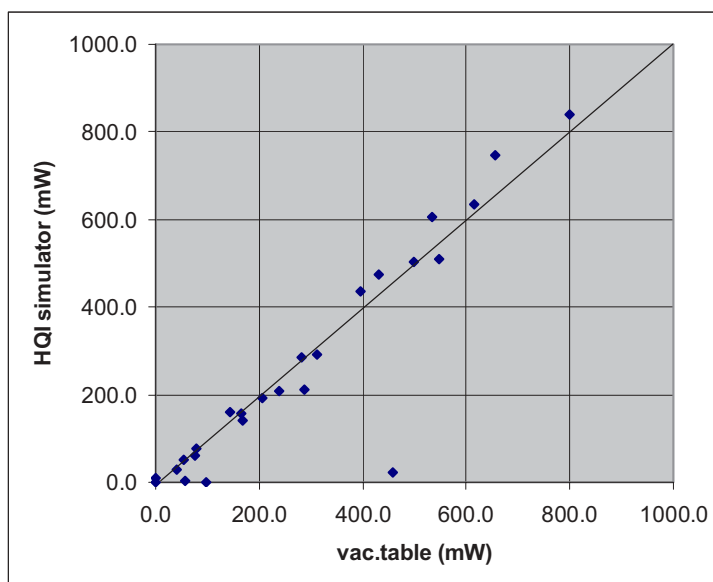


Figure 20: Corrélation entre la puissance maximale (P_{mpp}) mesurée sur la table de préparation (vac. table) et sous le simulateur standard à lampes HQI

Nouvelle lamineuse Spire 240 :

La première lamineuse de VHF du type Riston SMVL 100 peut de couvrir des surfaces que de 30 cm par 60 cm. Pour surmonter ce goulet d'étranglement de la capacité de production dans le back-end, un nouvel investissement était indispensable.

Cet investissement a été effectué en novembre 2004 en rachetant une lamineuse Spire 240 à l'entreprise Solterra Fotovoltaico SA (Figure 21). Cette lamineuse a les caractéristiques suivantes :

1. Dimensions maximales du module (en tenant compte de l'espace de 1 cm recommandé en pourtour durant le processus):
longueur 143.7 cm, largeur max 77.7 cm, épaisseur 2.5 cm
2. Température de fonctionnement : jusqu'à 180°C
3. Pression de laminage: du vide à la pression atmosphérique
4. Vitesse de pompage 650 l/min
5. Puissance électrique: 16kW, 3 phases, 220 VAC +/- 10% 50/60Hz
6. Dimensions L:2.03 m h:1.07 m l:1.47 m, masse: 880 kg



Figure 21: La lamineuse Spire 240 en utilisation à Yverdon

Résultat :

Avec cette nouvelle lamineuse, 4 modules de 30cm x 60cm peuvent maintenant être laminés en même temps, multipliant ainsi la capacité du back-end par un facteur 4. La taille de la nouvelle lamineuse permet également la fabrication de modules solaires jusqu'à 20W.

Selon la table ci-dessous, la capacité cible de 15m/h du projet est atteinte par les capacités cumulées du nouveau lamineur Spire avec l'ancien lamineur Riston-DuPont. La lamination en continu, originalement prévu déjà dans ce projet, sera poursuivie par la suite surtout dans le contexte d'utilisation de nouveaux matériaux de lamination rapide tel que la PETG, ou encore du TPU (Etimex/Bayer).

	Lamineur	Surface utilisable	Nombre de modules 30cm x 60cm par chargement	Capacité total
Situation initiale	Riston SMVL 100	0.65 m x 0.55 m	1	3.6 m/h
Situation novembre 2004	Spire 240	1.50 m x 0.77 m	4	14.4 m/h
Valeur cible du projet				15 m/h (30 m/2h)

4. Conclusions et perspectives

Au début du projet, VHF-Technologies possédait le know-how d'un ensemble d'étapes de fabrication qui permettait de démontrer la faisabilité de la production du produit flexcell de A à Z. Néanmoins, le parc de machines de diverses capacités empêchait la réalisation d'une production pilote linéaire.

Maintenant, grâce au soutien de ce projet, tous les goulots d'étranglement ont pu être éliminés, tout en améliorant la qualité et en diminuant grandement le travail manuel. La capacité de production de la totalité des étapes a ainsi été amenée à un même niveau (situation « équilibrée »). Grâce aux améliorations précitées et à une meilleure organisation du travail, ce niveau se situe à 40 kWcrête par an, ce qui était la valeur cible du présent projet.

La Figure 22 donne la capacité des étapes critiques avant le projet et à la fin du projet en comparaison avec la valeur cible de 40 kWcrête.

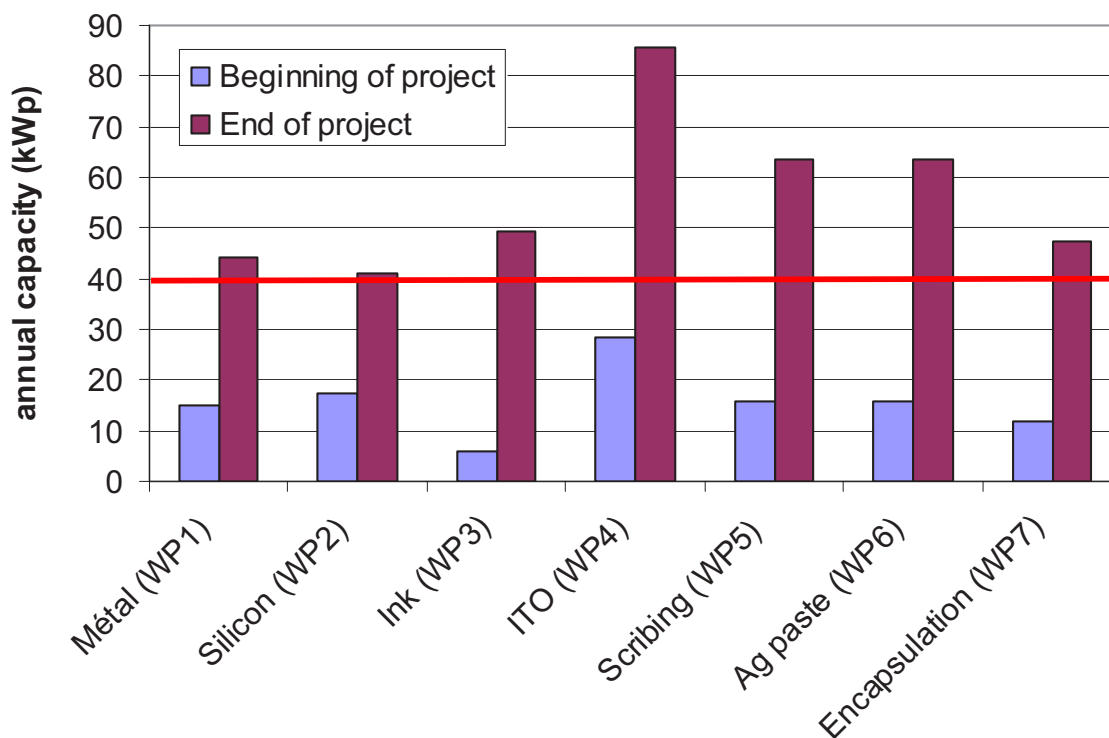


Figure 22: Capacité annuelle des étapes de fabrications critiques dans la production du produit flexcell, au début du projet (novembre 2003), et à la fin du projet en février 2005.

Par rapport aux différents work-packages (WP1-7) du projet, le tableau ci-dessous donne le détail des travaux et le degré d'atteinte des buts et valeurs cibles de chaque work-package:

Work package WP	But, valeur cible	Chemin de solution	Résultats obtenus	Degré d'atteinte des valeurs cibles de capacité
1	Augmentation de la capacité de métallisation à 150 m/jour	Dépôt simultané 3 cibles	Vitesse de métallisation : 0.56 m/min 150m / 4.5 h	95%
2	Augmentation de la capacité du dépôt de silicium à 30m/jour	Nouvelle électrode, dépôt rapide	28m/8.5h	90%
3	Traçage pour le lift-off de l'ITO 30m/heure	Traçage en roll-to-roll	1m/min	100%
4	Augmentation de la capacité du dépôt de l'ITO à 30m/jour	Dépôt parallèle avec 2 cibles	34m/8h	100%
5	Augmentation de l'opération rayure mécanique et dispense de la pâte Ag 30m/6h	Augment. de capacité, élimination du débris	Nouveau support de pointe de rayure, optimisation de la force de rayure, rayure continue à 50cm/sec	95% (28.8m/6h)
6		Amélioration qualité, augmentation capacité	Nouvelle gestion de pression, affûtage optimisé du dispenser, nettoyage des débris permettant une vitesse de 15cm/sec (avant 2 cm/sec)	95% (28.8m/6h)
7	Augmentation de la capacité de lamination	Nouvelle lamineuse avec 4x plus de capacité	Aides à la fabrication réalisés, 18m/h en combinant les deux lamineuses	100%

Perspectives :

A la conclusion de ce projet, i.e. au début d'année 2005, les perspectives suivantes s'ouvrent à VHF-Technologies :

Une ligne de production pilote est maintenant en place, ce qui permettra en 2005 de servir le marché OEM et des chargeurs portables avec des volumes encore modestes, mais réguliers. En parallèle, cette même production pilote permettra de développer le business et de rechercher des partenariats stratégiques dans la direction du marché BIPV/énergie, à travers la mise à disposition du produit flexcell pour des projets de démonstration (field tests) et de co-développement avec des partenaires.

Cette stratégie est maintenant à nouveau soutenue par les investisseurs de VHF-Technologies, qui ont refinancé la société pour atteindre en 2005 les buts suivants :

- regroupement des activités à Yverdon-les-Bains
- élimination des dernières étapes de fabrication en batch (tout en continu)
- augmentation de la performance du produit à 4% de rendement stable
- augmentation de la capacité fabrication à 100 kW avec un rendement de fabrication de 80%
- accélération des ventes des secteurs chargeurs portables et produits OEM
- développement de nouveaux produits
- vérification du modèle de coût et du business plan pour un scénario de 5 MW annuel
- conclusion d'un partenariat stratégique dans la distribution d'éléments PV pour les bâtiments