

HESPUL

114, Boulevard du 11 novembre - 69100 VILLEURBANNE

Tel : 04 37 47 80 90 Fax : 04 37 47 80 99

info@hespul.org

www.hespul.org



Retour d'expérience des projets de démonstration de mise en œuvre de systèmes photovoltaïques

PHEBUS93, PHEBUS95, PHEBUS97, PV-SALSA

Rapport de synthèse

24 Avril 2007

Rapport rédigé par Marie-Laure BRUNEL, Antoine LE ROUX, Jérôme LEBRETON
sous la direction de Bruno GAIDDON

Résumé

Entre 1992 et 2001, environ 220 systèmes photovoltaïques raccordés au réseau, soit environ 330 kWc, ont été réalisés dans le cadre de programmes de recherche et développement co-financés par la Commission Européenne. L'objectif de cette étude est de faire un point précis sur la fiabilité de ces systèmes photovoltaïques après plusieurs années de fonctionnement et de fournir des indications sur la satisfaction générale des utilisateurs.

Premier constat, sur 117 systèmes photovoltaïques en mesure de fonctionner, un seul était en panne au moment où cette enquête a été réalisée, soit moins de 1% des systèmes étudiés. D'après les données fournies par les maîtres d'ouvrage, la production moyenne de ces systèmes est relativement constante d'une année sur l'autre, aucune baisse significative n'ayant été remarquée.

Cependant, environ un tiers des systèmes étudiés ont connu depuis leur mise en service au moins une panne. L'analyse détaillée des pannes démontre que le principal problème des installations photovoltaïques est l'onduleur, 67 % des pannes étant dues à ce composant. Par ailleurs, le travail effectué sur le temps moyen entre deux pannes d'un système, le MTBF, montre que la durée de fonctionnement sans panne des onduleurs est légèrement supérieure à 9 ans, c'est à dire conforme à la durée de 80 000 heures indiquée par les constructeurs.

Malgré ces pannes, avec 72,1% de très satisfaits et 23,5% de satisfaits, une très grande majorité des maîtres d'ouvrage considère les systèmes photovoltaïques comme fiables. Afin de conserver un taux de satisfaction élevé, il est donc important de bien expliquer aux maîtres d'ouvrage qu'il est normal qu'un onduleur, comme tous les appareils électroniques, tombe en panne au bout d'une certaine durée indiquée par les constructeurs.

Cette étude met par ailleurs en évidence que 50% des maîtres d'ouvrages estiment que le principal frein à l'aboutissement d'un projet d'installation de système photovoltaïque est la complexité administrative qui a été nécessaire au raccordement au réseau de distribution public et à la mise en place du contrat d'achat de l'énergie produite. Environ 22% des maîtres d'ouvrage estiment que le principal frein à leur projet a été la recherche de co-financements.

Enfin, 93% des maîtres d'ouvrage s'estiment prêts à renouveler cette expérience si l'occasion se présente. Ce témoignage massif des maîtres d'ouvrage en faveur du photovoltaïque permet de conclure que, du point de vue des utilisateurs de systèmes photovoltaïques, les aspects négatifs de cette filière dans son contexte français, à savoir sa faible voire absence de rentabilité financière, le volume des démarches administratives nécessaires pour la recherche de co-financements ou le raccordement au réseau et enfin le fait que les onduleurs tombent en panne, d'une façon statistique, au bout de 9 ans de fonctionnement, n'arrivent pas à contre-balancer les bénéfices que tirent les maîtres d'ouvrage de cette technologie, bénéfices principalement environnementaux pour les participants de ces programmes de démonstration.

Sommaire

AVANT-PROPOS.....	4
INTRODUCTION.....	5
1 PRÉSENTATION DES PROGRAMMES DE DÉMONSTRATION	6
1.1 LE SOUTIEN DE LA COMMISSION EUROPÉENNE.....	6
1.2 LES PROJETS DE DÉMONSTRATION DE TYPE « PHEBUS ».....	6
2 MÉTHODOLOGIE ET GÉNÉRALITÉS	8
2.1 MISE À JOUR DU FICHIER UTILISATEURS.....	8
2.2 ÉLABORATION ET ENVOI DES QUESTIONNAIRES	8
2.3 DÉROULEMENT DU PROJET.....	8
2.4 DÉPOUILLEMENT DES QUESTIONNAIRES.....	9
2.5 REMARQUE CONCERNANT L' AUGMENTATION DE LA PUISSANCE.....	9
3 ANALYSE DES RÉSULTATS - PARTIE TECHNIQUE.....	10
3.1 AVANT-PROPOS	10
3.2 ÉTAT DE FONCTIONNEMENT DES SYSTÈMES	10
3.3 ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION ANNUELLE DES SYSTÈMES	10
3.4 ÉTUDES DES PANNES	11
3.4.1 État des lieux.....	11
3.4.2 Origine des pannes.....	13
3.4.3 Première panne d'onduleur	13
3.4.4 Temps moyen entre deux pannes (MTBF).....	14
3.4.5 Bilan sur les pannes	15
4 ANALYSE DES RÉSULTATS – ENQUÊTE DE SATISFACTION SOCIO-ÉCONOMIQUE.....	16
4.1 MOTIVATIONS POUR DEVENIR MAÎTRE D'OUVRAGE D'UN SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE.....	16
4.2 ASPECTS TECHNIQUES.....	16
4.2.1 Fiabilité des systèmes.....	16
4.2.2 Production annuelle et simulation	17
4.3 ASPECTS FINANCIERS.....	18
4.3.1 Pertinence de l'investissement	18
4.3.2 Temps de retour financier	19
4.4 ANALYSE DES PRINCIPAUX FREINS À LA RÉALISATION DU PROJET	20
4.5 RENOUVELLEMENT DE L'EXPÉRIENCE.....	20
CONCLUSION	22
LISTE DES ANNEXES	23

Avant-propos

Hespul est une association loi de 1901, dont l'objet social est le développement de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables. Elle est spécialisée depuis 1991 dans la promotion et les opérations de démonstration de la filière photovoltaïque, et plus spécialement dans sa version raccordée au réseau.

Entre 1993 et 2001, Hespul a coordonné plusieurs projets de démonstration financés par la Commission Européenne (DG TREN) visant à l'installation de systèmes photovoltaïques raccordés au réseau de faible puissance.

L'expérience acquise par Hespul au cours de ces projets de démonstration se traduit par une expertise à la fois technique, économique et juridique sur les conditions de mise en œuvre du photovoltaïque en France. Elle permet d'accompagner les maîtres d'ouvrage, les développeurs de projets ainsi que les pouvoirs publics. Par ailleurs, Hespul participe désormais à plusieurs groupes d'experts internationaux comme par exemple la Plate-forme Technologique Européenne du Photovoltaïque et l'Agence Internationale de l'Énergie.

En parallèle de cette activité qui reste principale, Hespul a été intégrée à partir de 2000 dans le réseau des Espaces-Info-Energie mis en place par l'ADEME avec la responsabilité géographique du département du Rhône et une compétence multi-filières, énergies renouvelables et efficacité énergétique comprises. Cela a permis de mettre en pratique une approche territoriale parfaitement complémentaire des aspects purement techniques déjà bien maîtrisés.

Le présent rapport, rédigé par des étudiants de l'IUT de Tarbes sous la direction de Bruno GAIDDON, consiste en l'analyse de la fiabilité, après près de 10 ans de fonctionnement, des systèmes photovoltaïques mis en place dans le cadre des programmes européens PHEBUS93, PHEBUS95, PHEBUS97 et PV-SALSA.

Introduction

Le premier système photovoltaïque raccordé à un réseau de distribution en France a été installé par Hespul en 1992. Il fait l'objet d'un suivi régulier et produit environ 900 kWh par an conformément aux simulations de production effectuées à l'époque.

Encouragée par le succès de cette première opération, l'association Hespul a coordonné de 1993 à 2001 quatre projets de démonstration visant à l'installation de systèmes photovoltaïques raccordés au réseau de faible puissance : PHEBUS 93, PHEBUS 95, PHEBUS 97 et PV SALSA.

L'objectif de cette étude est de faire un point précis sur la fiabilité des systèmes photovoltaïques en conditions réelles et notamment de répondre aux questions suivantes :

- les systèmes photovoltaïques installés dans les années 90 sont-ils toujours en fonctionnement ?
- ces systèmes fonctionnent-ils toujours conformément aux prévisions ?
- quelles sont les principales causes des pannes qui affectent les systèmes photovoltaïques ?

Enfin, cette étude fournit des indications sur la satisfaction générale des utilisateurs après plusieurs années de fonctionnement, sur les motivations et les freins principaux rencontrés ainsi que sur leur souhait de renouveler ou pas une telle expérience s'ils en avaient de nouveau l'occasion.

1 Présentation des programmes de démonstration

1.1 Le soutien de la Commission Européenne

La Commission Européenne soutient depuis de nombreuses années la filière photovoltaïque raccordée au réseau. Le 4^{ème} programme cadre de recherche et développement (4^{ème} PCRD) qui s'est déroulé de 1994 à 1998 et le 5^{ème} PCRD entre 1998 et 2002 ont tous deux contribué au décollage de cette filière et Europe. Les programmes de démonstration PHEBUS, réalisés dans ce cadre, ont été de loin les principaux leviers qui ont permis le démarrage d'un marché photovoltaïque raccordé au réseau en France Métropolitaine.

1.2 Les projets de démonstration de type « PHEBUS »

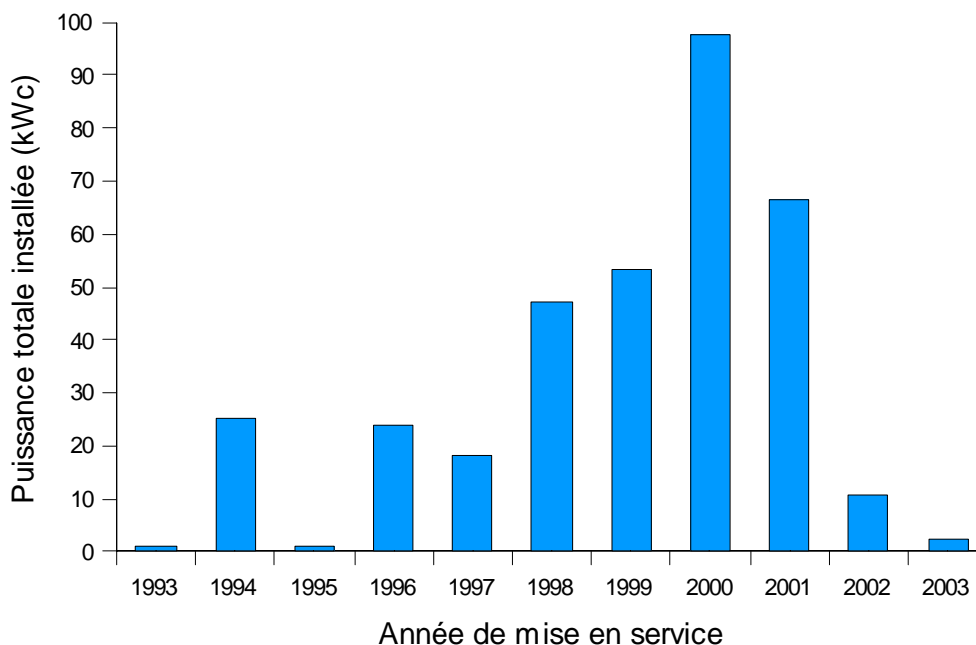
Coordonnés par l'association Hespul, les projets de démonstration de type PHEBUS puis PV-SALSA et co-financés par le Commission Européenne ont consisté, entre 1992 et 2003, à la réalisation d'environ 220 systèmes photovoltaïques raccordés au réseau, ce qui représente une puissance crête cumulée d'environ 330 kWc (voir tableau n°1).

Tableau n°1 - liste des projets de démonstration financés par la Commission Européenne

Année	Nom du projet	Nombre de systèmes	Puissance installée
1993	PHEBUS 93	19	27 kWc
1995	PHEBUS 95	41	45 kWc
1997	PHEBUS 97	113	183 kWc
1999	PV-SALSA	44	74 kWc
	Total	217	329 kWc

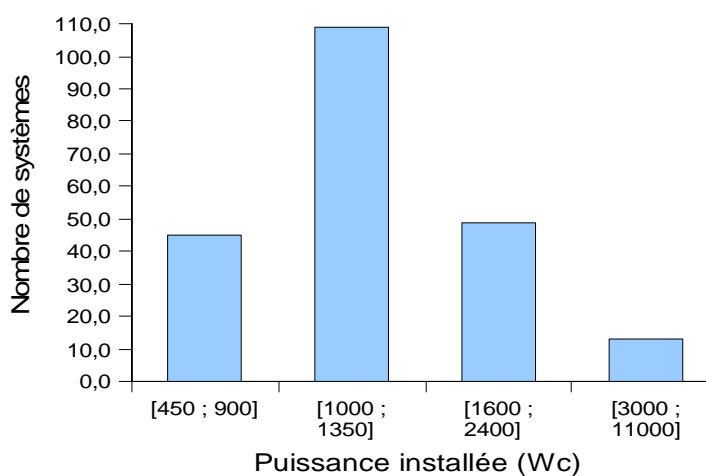
Les maîtres d'ouvrage participant à ces programmes, principalement des particuliers, se voyaient attribuer une subvention européenne pour l'achat des composants du générateur photovoltaïque (modules photovoltaïques et onduleurs) et installaient généralement eux-mêmes le système.

Le rythme des installations s'est accéléré progressivement depuis 1992 jusqu'à atteindre un pic en 2000, année où les pouvoirs publics ont commencé officiellement à reconnaître cette filière et ses nombreux intérêts et à lancer leurs propres actions de promotion en faveur du photovoltaïque (voir graphique n°1).



Graphique n°1 - Puissance installée par année

Les systèmes photovoltaïques installés au cours de ces programmes sont de faible puissance : la majorité des systèmes ont une puissance comprise entre 1000 et 1350 Wc (voir graphique n°2)



Graphique n°2 - Répartition des systèmes par puissance installée

Les systèmes photovoltaïques étaient généralement livrés sous forme de kit de puissance fixe. Différentes puissances étaient proposées aux maîtres d'ouvrage en fonction des produits (onduleurs et modules photovoltaïques) utilisés lors de chaque programme.

2 Méthodologie et généralités

2.1 Mise à jour du fichier utilisateurs

La mise à jour des fichiers contacts de ces projets européens établis depuis 1992 a été la première étape de cette étude afin de créer une base de donnée des maîtres d'ouvrage. Cette mise à jour a été effectuée sur la base des listes de contacts des différents programmes de démonstration qui n'avaient, jusqu'à ce jour, jamais fait l'objet d'une actualisation.

Des difficultés sont apparues pour retrouver les coordonnées de certains propriétaires de système, du fait soit d'un changement d'adresse suite à la vente du leur logement, soit d'une inscription en liste rouge. Dans ce cas, comme il est très probable que l'installation photovoltaïque se situe toujours à la même adresse, il a été nécessaire de retrouver le nom des nouveaux propriétaires. Pour ce faire, des questionnaires ont été envoyés aux mairies pour qu'elles les retransmettent aux adresses indiquées. Chaque courrier comprenait une enveloppe de retour afin de maximiser le taux de réponse à ce questionnaire.

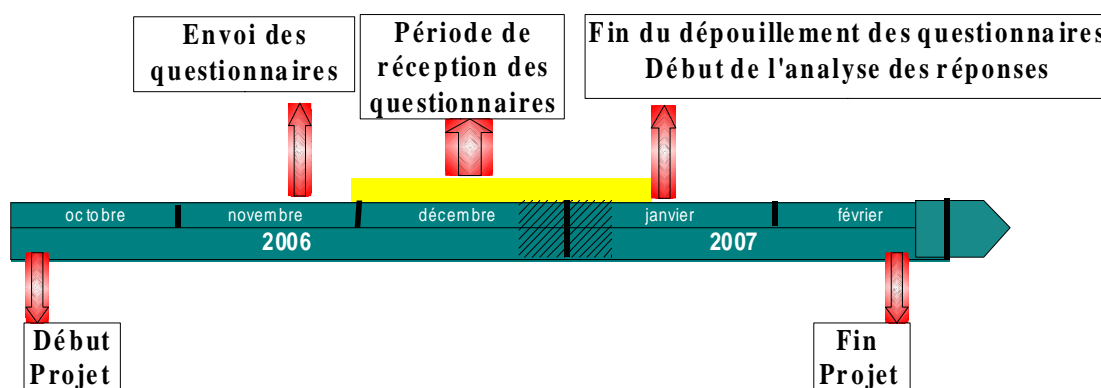
2.2 Élaboration et envoi des questionnaires

L'objectif du questionnaire est de récolter les informations nécessaires à la réalisation d'une étude technique et économique des installations. Il a donc été divisé en trois parties : une partie traitant du fonctionnement, une partie sur les données de production et une partie sur le niveau de satisfaction. Il comporte par ailleurs une partie traitant des généralités ainsi qu'une partie laissée libre pour les commentaires. Le questionnaire est fourni en annexe 1 de ce rapport.

2.3 Déroulement du projet

Le projet s'est déroulé en trois grandes phases :

- L'élaboration du questionnaire
- Le dépouillement des questionnaires retournés par les maîtres d'ouvrage
- L'analyse des réponses et la rédaction du rapport de synthèse



Graphique n°3 – Planning du projet

2.4 Dépouillement des questionnaires

Sur les 189 questionnaires qui ont été envoyés aux maîtres d'ouvrage, près de 60% ont été complétés et retournés (voir tableau n°2). Ce taux global de réponses au questionnaire est donc extrêmement élevé et reflète la motivation des maîtres d'ouvrage à partager leur expérience. Par ailleurs, il est intéressant de constater que plus l'installation photovoltaïque est récente, plus le taux de réponse est élevé.

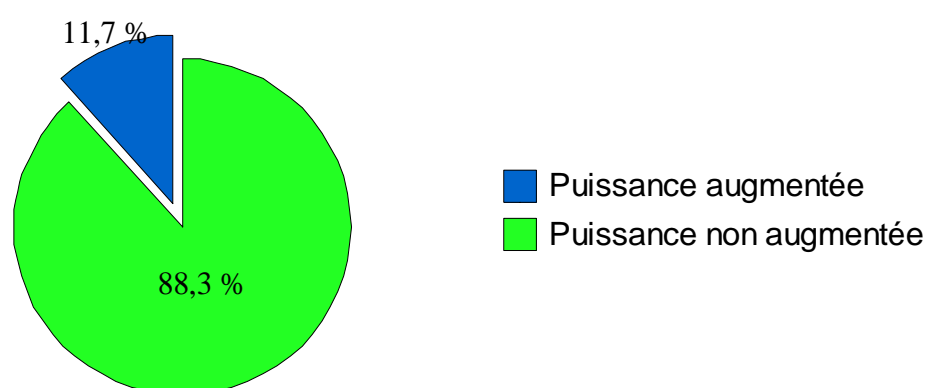
Tableau n° 2 - Récapitulatif des réponses au questionnaire par programme

	Nombre d'installations	Questionnaires envoyés	Réponses reçues	Réponses en %
PHEBUS 93	19	18	6	33
PHEBUS 95	41	30	16	53
PHEBUS 97	113	104	65	63
PV SALSA (99)	44	37	33	89
TOTAL	217	189	120	60%

La différence entre le nombre de maîtres d'ouvrage total et le nombre de questionnaires envoyés est due aux difficultés rencontrées à retrouver les contacts. En effet, après plusieurs années, il est parfois difficile de retrouver certains maîtres d'ouvrages, notamment en cas de vente du domicile.

2.5 Remarque concernant l'augmentation de la puissance

Sur les 120 maîtres d'ouvrage ayant répondu au questionnaire, 14 ont augmenté la puissance de leur centrale.



Graphique n°4 – Pourcentage augmentation puissance

Concernant les augmentations de puissance, on remarque qu'elles concernent principalement les installations des programmes PHEBUS 97 (12 systèmes concernés) et PV-SALSA (2 systèmes concernés). Aucun système des programmes PHEBUS 93 et 95 n'a fait, quant à lui, l'objet d'une augmentation de puissance.

3 Analyse des résultats - Partie technique

3.1 Avant-propos

L'analyse des résultats étant basée sur les questionnaires retournés, elle ne reflète donc que 60% des installations raccordées au réseau de ces programmes.

Cependant, cette étude statistique se base sur un nombre important de données puisqu'elle comporte des informations sur plus de 120 systèmes photovoltaïques composés d'un ou plusieurs onduleurs en fonctionnement depuis un nombre d'années compris entre 4 et 15. Aussi, ce sont des données portant sur **841 années-système et 1125 années-onduleur** qui ont été recueillies au cours de cette étude.

3.2 État de fonctionnement des systèmes

Sur les 120 installations photovoltaïques étudiées, seules 4 n'étaient pas en fonctionnement au moment où cette enquête a été réalisée (voir tableau n°3).

Tableau n°3 – Systèmes en fonctionnement

Nom du projet	Nombre de systèmes étudiés	Nombre de systèmes en fonctionnement	Taux
PHEBUS 93	6	6	100%
PHEBUS 95	16	15	94%
PHEBUS 97	65	63	97%
PV-SALSA	33	33	97%
TOTAL	120	117	97%

Les raisons de l'interruption du fonctionnement de ces quatre systèmes sont :

- la revente de l'installation photovoltaïque pour l'achat d'une installation neuve pouvant bénéficier du nouveau tarif d'achat du kWh
- un délai dans l'installation d'un système photovoltaïque acheté d'occasion
- un délai dans la ré-installation des modules démontés pour permettre l'installation de panneaux solaires thermiques
- et une panne d'onduleur

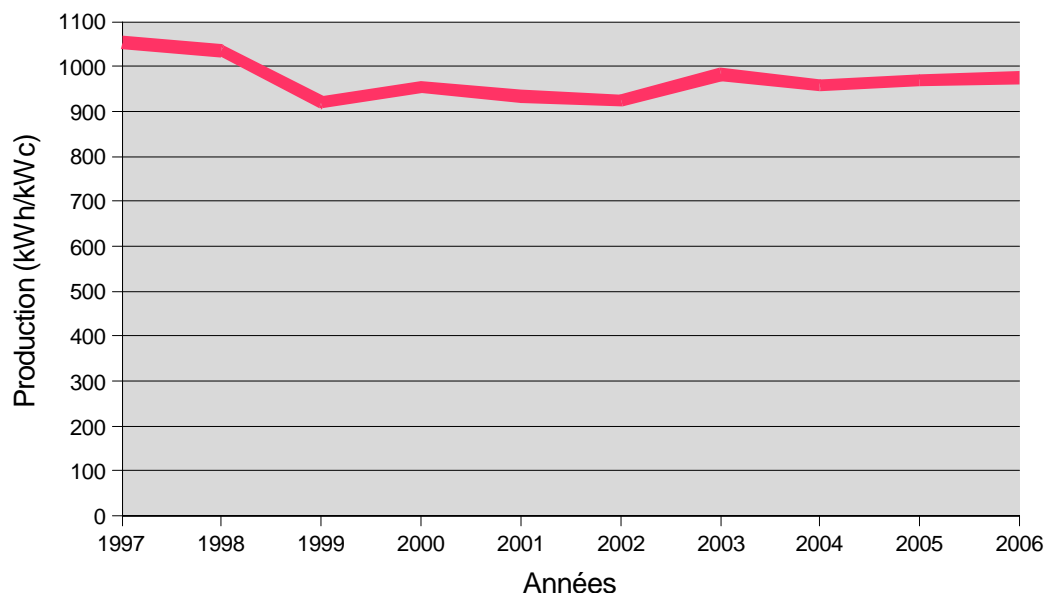
Il en résulte, en réalité, que seul un système est réellement en panne sur les 117 en mesure de fonctionner. Le taux de systèmes en panne au moment de l'enquête est donc très faible, inférieur à 1%.

3.3 Évolution de la production annuelle des systèmes

La production annuelle de chaque système a été demandée aux maîtres d'ouvrage de façon à étudier la variation de ce paramètre avec le temps. Les données reçues ont été ramenées à 1 kWc afin de permettre une comparaison entre les systèmes et les programmes.

Seuls les systèmes disposant du détail de production par année ont fait l'objet de l'étude de l'évolution de la production annuelle. Les systèmes ne disposant que de la production cumulée depuis la mise en service, comme la plupart des systèmes du programme PHEBUS 93, n'ont pas été pris en compte dans cette analyse.

Le graphique n°5 met en évidence le fait que la production annuelle moyenne, bien que variable, reste bien dans la plage comprise entre 900 et 1000 kWh/kWc/an, valeur typique de la production annuelle d'un système photovoltaïque en France.



Graphique n°5 - Production annuelle moyenne pour tous les systèmes en kWh/kWc.

La production plus élevée en 1997 et 1998 s'explique par le fait que seuls 16 systèmes étaient en fonctionnement à cette époque et qu'ils étaient tous légèrement plus performants que la moyenne des systèmes installés ultérieurement, non pas pour des questions de qualité de matériels utilisés, mais pour des raisons d'ensoleillement (position géographique plus favorable que la moyenne et bonne orientation par rapport au sud). On constate également une hausse de production en 2003 qui se traduit par l'effet visible de la canicule de cette année là.

L'annexe 2 montre la production annuelle moyenne pour chacun des programmes de démonstration.

3.4 Études des pannes

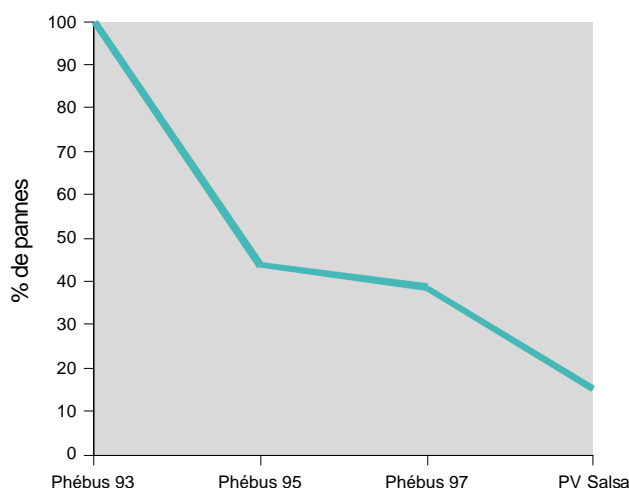
3.4.1 État des lieux

Sur les 120 maîtres d'ouvrage ayant répondu au questionnaire, 43 indiquent que leur système a subi au moins une panne depuis sa mise en service, soit 36 % des maîtres d'ouvrage (voir tableau 4 et l'annexe 3).

Tableau n°4 – Nombre de systèmes ayant subi une panne

Nom du projet	Nombre de systèmes étudiés	Nombre de systèmes ayant subi une panne	Taux
PHEBUS 93	6	6	100 %
PHEBUS 95	16	7	44 %
PHEBUS 97	65	25	39 %
PV-SALSA	33	5	15 %
TOTAL	120	43	36%

On remarque que le nombre de systèmes ayant subi une panne est directement fonction du nombre d'années de fonctionnement : d'une façon générale, il y a plus de systèmes ayant subi une panne parmi les systèmes en fonctionnement depuis plusieurs années que parmi les systèmes récemment installés. Aussi, plus le programme de démonstration est récent, moins les installations photovoltaïques sont touchées par des pannes (voir graphique n°6).



Graphique n°6 – Pourcentage des systèmes ayant subi une ou plusieurs pannes par programme

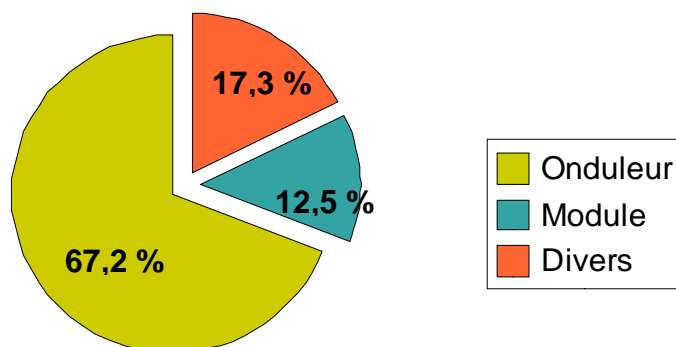
Parmi les 43 installations ayant été affectés par des pannes, certaines ont connu plusieurs pannes, ce qui représente un total de 77 pannes (voir tableau n°5).

Tableau n°5 – Nombre de systèmes ayant subi une panne

Nombre de pannes par système	Nombre de systèmes affectés	Nombre total de pannes
1 panne	27	27
2 pannes	11	22
3 pannes	1	3
4 pannes et plus	4	25
TOTAL	43	77

3.4.2 Origine des pannes

Une analyse approfondie de l'origine des pannes montre que plus de 67 % des pannes sont dues aux onduleurs, ce qui illustre bien le fait que ces appareils sont le maillon le plus fragile des installations photovoltaïques (voir graphique n°7).



Graphique n°7 – Répartition des pannes par système

Les différentes causes de pannes constatées lors de cette étude sont recensées dans la tableau ci-dessous.

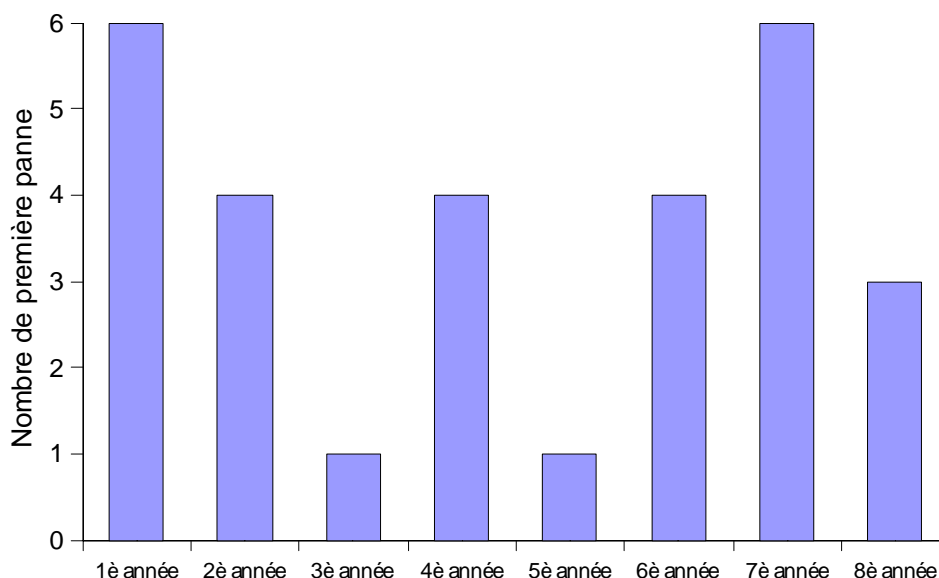
Tableau n°6 – Origine des pannes

Matériel	Origine
Onduleur	<ul style="list-style-type: none"> - foudre, - faux contact, - mauvais réglages, - pile de sauvegarde - fusibles, - surtension, - condensateur,
Module	<ul style="list-style-type: none"> - surchauffe, - délaminage, - soudures connectique, - inversion des liaisons de sortie
Divers	<ul style="list-style-type: none"> - le parafoudre - le décomptage EDF - les coupe-circuits - les défauts de connexion au réseau

3.4.3 Première panne d'onduleur

Comme le montre l'analyse de l'origine des pannes, l'onduleur est le composant le plus souvent en défaut. Aussi, une analyse spécifique de l'année de la première panne d'onduleur a été conduite.

Il est résulte que, exception faite de la première année au cours de laquelle un nombre important de premières pannes a été enregistré, notamment à cause de problème de paramétrage, l'année de la première panne d'un onduleur photovoltaïque semble aléatoire (voir graphique n°8).



Graphique n°8 – Année de fonctionnement au cours de laquelle se produit la première panne d'onduleur

3.4.4 Temps moyen entre deux pannes (MTBF)

Afin de caractériser la fréquence des pannes d'onduleur, le temps moyen entre deux pannes, *Mean Time Between Failures* (MTBF), qui est couramment utilisé par les industriels de l'électronique pour caractériser la fiabilité d'un appareil, a été évalué sur la base des données recueillies.

Le MTBF, qui correspond au temps moyen que met un système à tomber en panne, a été calculé en divisant le nombre d'années de fonctionnement d'un système photovoltaïque par le nombre de pannes survenues au cours de cette période. À titre d'information, le fabricant d'onduleurs utilisés dans ces programmes de démonstration, le leader mondial du secteur SMA, indique que le MTBF de ses appareils est de 80 000 heures. Cela signifie qu'un onduleur, et donc un système photovoltaïque, tombe en panne en moyenne au bout de 9 ans et un mois. Le nombre important de systèmes photovoltaïques étudiés ainsi que le nombre important d'années de fonctionnement permettent d'estimer en fonctionnement réel le MTBF des systèmes photovoltaïques (voir tableau n°6).

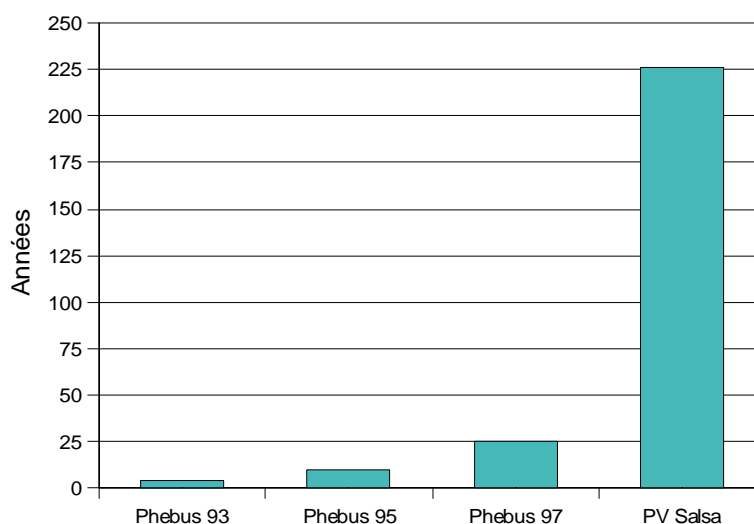
Tableau n°6 – MTBF des onduleurs par programme

	Nombre de pannes	Nombre d'années-système	MTBF (Années)	MTBF (Heures)
PHEBUS 93	12	67	4	35 040
PHEBUS 95	14	158	9,3	81 468
PHEBUS 97	24	451	25,4	222 066
PV-SALSA	1	165	227	1 445 400
TOTAL	51	841		

Premier constat, on remarque que pour le programme PHEBUS 93, le MTBF est de 4 ans, ce qui est nettement inférieur aux 9 ans annoncés par les fabricants d'onduleurs. Ce résultat médiocre a déjà été constaté à l'étranger lors de programmes similaires, notamment le programme des « 1 000 toits solaires » réalisé en Allemagne dans les années 1990, qui

utilisait le même type d'onduleur, à savoir le modèle PVWR 1800 de SMA. L'expérience acquise par SMA au cours de ce programme a notamment permis développer un nouveau modèle d'onduleurs, plus simple, plus robuste et plus fiable, le *Sunny Boy*, qui a dès lors été utilisé dans les programmes suivants (PHEBUS 95, PHEBUS 97 et PV SALSA).

Concernant le MTBF moyen des systèmes du programme PHEBUS 95, on remarque que celui-ci est légèrement supérieur à la valeur indiquée par le fabricant, 81 500 heures au lieu de 80 000 heures, preuve de l'amélioration notable de la fiabilité de l'onduleur de type *Sunny Boy* par rapport à son ancêtre le PVWR 1800.



Graphique n°9 – MTBF

Pour les programmes PHEBUS 97 et PV SALSA, le MTBF très élevé s'explique par le fait que la panne statistique d'onduleur attendue après environ 9 ans de fonctionnement n'a pas encore eu lieu.

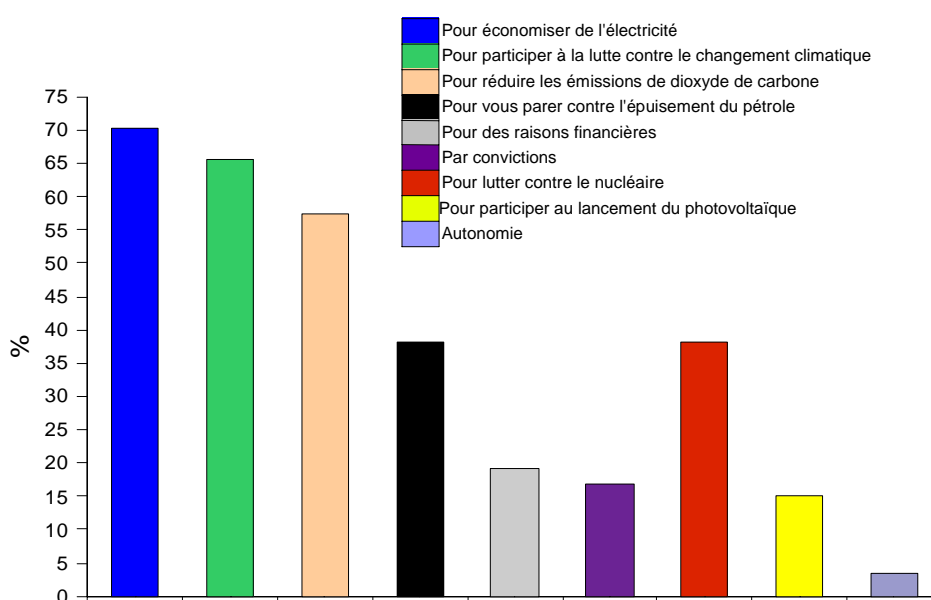
3.4.5 Bilan sur les pannes

L'étude des pannes démontre que le principal problème des installations photovoltaïques est l'onduleur, 67 % des pannes étant dues à ce composant. Bien que ce type de panne surgisse parfois dès la première année de mise en service du système, le travail effectué sur le temps moyen entre deux pannes, le MTBF, montre que la durée de fonctionnement sans panne des onduleurs est bien conforme à la durée de 80 000 heures indiquée par les constructeurs.

4 Analyse des résultats – Enquête de satisfaction socio-économique

4.1 Motivations pour devenir maître d'ouvrage d'un système photovoltaïque

Comme l'ont démontré d'autres enquêtes similaires réalisées à plus petite échelle, les principales motivations qui poussent les particuliers à investir dans un système photovoltaïque raccordé au réseau sont liées aux économies d'énergie (70% des maîtres d'ouvrage), à la problématique du réchauffement climatique et de la réduction des émissions de CO₂ (respectivement 65% et 57%) ainsi qu'à la réduction de l'utilisation de sources conventionnelles d'énergie, thermique et nucléaire (37%). L'intérêt financier d'investir dans le photovoltaïque est relativement peu invoqué par les maîtres d'ouvrage (environ 17% des maîtres d'ouvrage).



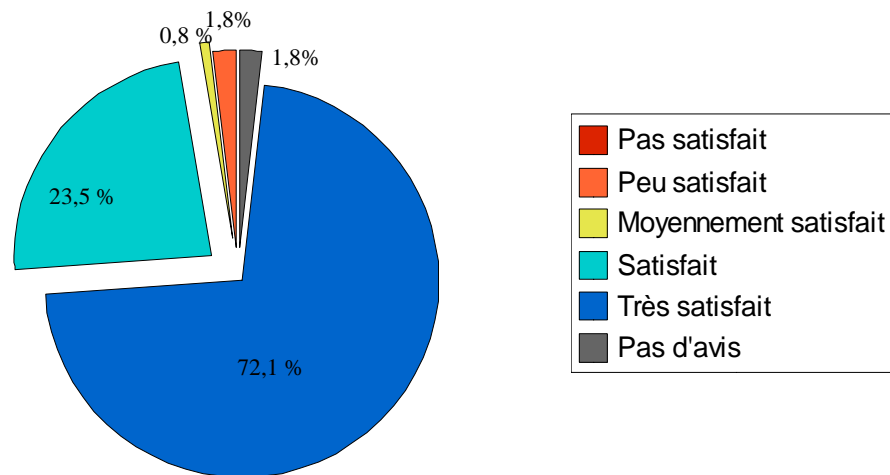
Graphique n°10 – Raisons pour avoir choisi d'investir dans un système PV

Il est intéressant de noter que les motivations des maîtres d'ouvrage varient relativement peu en fonction des programmes de démonstration (voir annexe 4).

4.2 Aspects techniques

4.2.1 Fiabilité des systèmes

Globalement, avec 72,1% de très satisfaits et 23,5% de satisfaits, une très grande majorité des maîtres d'ouvrage considère les systèmes photovoltaïques comme fiables (voir graphique n°11).



Graphique n°11 – Satisfaction sur la fiabilité des systèmes

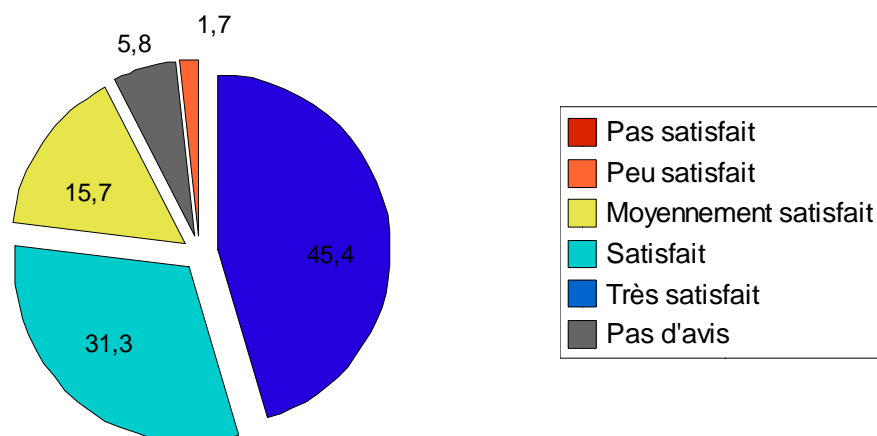
Parmi les 120 maîtres d'ouvrage ayant répondu au questionnaire, 2 estiment ne pas être satisfaits de la fiabilité de leur système photovoltaïque. Ces deux maîtres d'ouvrage font partie des quatre maîtres d'ouvrage ayant subi plus de quatre pannes depuis la mise en service de leur système photovoltaïque (voir tableau n°5).

L'analyse du niveau de fiabilité perçue par programme européen indique que, plus le programme est récent, plus la part de maîtres d'ouvrage très satisfaits par la fiabilité de leur système augmente (voir annexe 5). Cela s'explique en partie par le fait que les systèmes récents n'ont, de façon statistique, pas encore rencontré de panne d'onduleurs comme expliqué au paragraphe 3.4.4.

Cependant, il est important de noter que, bien que tous les maîtres d'ouvrage du programme PHEBUS 93 aient rencontré au moins une panne (voir tableau n°4), ils indiquent à l'unanimité être satisfaits de la fiabilité de leur système photovoltaïque.

4.2.2 Production annuelle et simulation

Les maîtres d'ouvrages ont aussi été questionnés sur leur niveau de satisfaction concernant la production annuelle de leur système photovoltaïque par rapport à la simulation de production annoncée en phase étude. Dans ce domaine, le niveau de satisfaction est là encore globalement bon puisque 45,4% des maîtres d'ouvrage s'estiment très satisfaits et 31,3% satisfaits (voir graphique n°12).



Graphique n°12 – Satisfaction sur la simulation de production en %

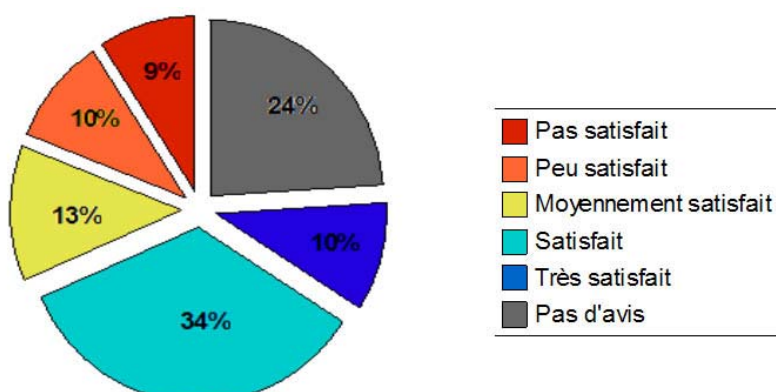
Ce niveau de satisfaction est relativement constant pour les différents programmes étudiés, ce qui reflète le fait que les maîtres d'ouvrage n'ont pas constaté de baisse sensible de la production annuelle au cours des années (voir graphique n°5 et annexe 6).

Concernant la production annuelle des systèmes photovoltaïques par rapport à la production attendue, il est par ailleurs à noter que 15,7% des maîtres d'ouvrage s'estiment moyennement satisfaits et que 1,7% s'estiment peu satisfait. Comme pour la fiabilité des systèmes, on remarque qu'il y a une forte corrélation entre le niveau d'insatisfaction et le nombre de pannes subies. En effet, la production annuelle d'un système photovoltaïque ayant subi une panne sera forcément différente de la production attendue, notamment du fait du délai nécessaire à la réparation de l'onduleur. Enfin, certains maîtres d'ouvrage regrettent que la simulation de production n'ait pas été réalisée de façon plus précise.

4.3 Aspects financiers

4.3.1 Pertinence de l'investissement

44% des maîtres d'ouvrage interrogés s'estiment satisfaits ou très satisfaits d'avoir investi financièrement dans un système photovoltaïque et 32% s'estiment moyennement, peu ou pas satisfaits de leur investissement en termes financiers (voir graphique n°13).



Graphique n°13 – Satisfaction de l'investissement réalisé

Une part importante des maîtres d'ouvrage (24%) ne se prononce pas sur cette question et considère que la rentabilité financière n'était pas l'objectif principal de leur démarche (voir paragraphe 4.1 sur les motivations).

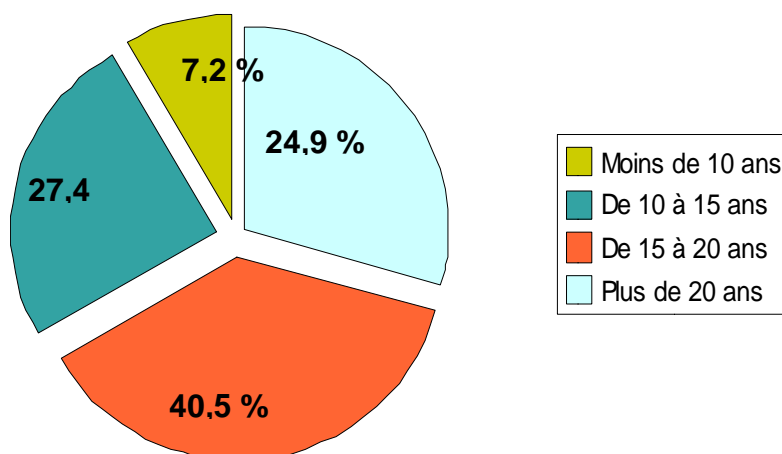
On remarque que plus les mécanismes de soutien sont importants, plus le taux de maîtres d'ouvrage satisfaits diminue. En effet, les maîtres d'ouvrage des premiers programmes, en particulier PHEBUS 93, peuvent être qualifiés de pionniers et n'accordaient pas ou peu d'intérêt à la rentabilité financière de leur projet pour lequel ils n'ont reçu qu'un faible taux de subventions. Pour les programmes plus récents, tels PHEBUS 97 et PV-SALSA, les maîtres d'ouvrage semblent plus regardants sur la pertinence de leur investissement, preuve que parmi les maîtres d'ouvrage de ces programmes se trouvent des pionniers mais aussi des imitateurs, prêts à moins de concessions au niveau financier (voir annexe 7)

4.3.2 Temps de retour financier

Bien que la rentabilité financière du système photovoltaïque ne soit pas la raison principale qui pousse les maîtres d'ouvrage à investir dans cette technologie, 70,5 % des maîtres d'ouvrage interrogés pensent que leur installation sera un jour rentabilisée.

Parmi les maîtres d'ouvrage estimant que leur système sera un jour rentabilisé :

- 24,9% estiment que cette rentabilité sera atteinte après plus de 20 années de fonctionnement. Un temps de retour financier supérieur à 20 ans correspond en fait à des installations qui ne seront jamais rentables au sens strict du terme,
- environ 40% des maîtres d'ouvrages estiment que leur installation sera rentabilisée entre 15 et 20 ans. Une telle durée de temps de retour correspond à une rentabilité passable voire nulle,
- 27,4% des maîtres d'ouvrages estiment que leur installation sera rentabilisée entre 10 et 15 ans, ce qui correspond à une rentabilité correcte voire bonne,
- enfin 7,2% des maîtres d'ouvrage pensent que le temps de retour financier de leur système est inférieur à 10 ans, ce qui correspond à une très bonne rentabilité.



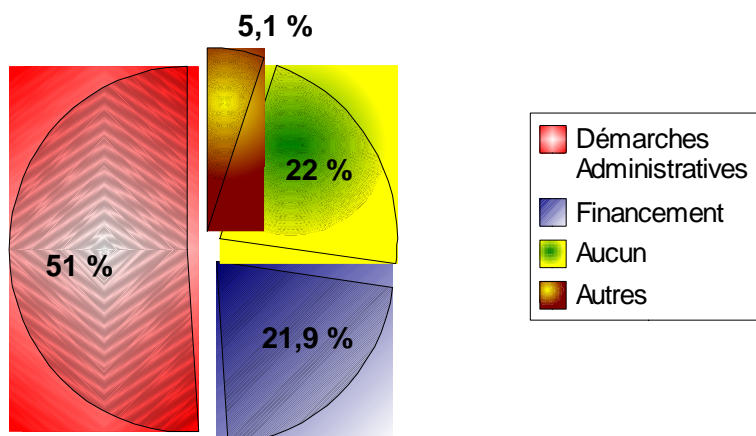
Graphique n°14 – Temps de retour sur investissement estimés par les maîtres d'ouvrage

On constate que les maîtres d'ouvrage des programmes les plus anciens (PHEBUS 93 et PHEBUS 95) estiment le temps de retour financier à des valeurs relativement élevées alors qu'on voit apparaître lors des programmes plus récents (PHEBUS 97 et PV-SALSA) une proportion de maîtres d'ouvrage qui estiment que le temps de retour financier de leur

système sera bon, c'est à dire inférieur à 10 ans (voir annexe 8). Cela s'explique par le fait que les maîtres d'ouvrage des premiers programmes n'ont reçu qu'un faible taux de subventions alors que ceux des programmes plus récents ont pu bénéficier de certaines des mesures incitatives en faveur du développement de cette filière : subventions régionales et subventions de l'ADEME, TVA à 5,5%, tarif d'achat à 0,1525 Euros/kWh, crédit d'impôt.

4.4 Analyse des principaux freins à la réalisation du projet

Un maître d'ouvrage sur deux estime que le principal frein à l'aboutissement d'un projet d'installation de système photovoltaïque est la complexité administrative qui a été nécessaire au raccordement au réseau de distribution public et à la mise en place du contrat d'achat de l'énergie produite (voir graphique n°15). Le pourcentage de maîtres d'ouvrage considérant les démarches administratives comme le principal frein à leur projet est très lié à l'année de mise en service du système : de 20% des maîtres d'ouvrage du programme PHEBUS 93, qui n'avaient pas à effectuer de démarche particulière puisqu'il n'y avait pas de cadre légal à cette époque, à plus de 80% des maîtres d'ouvrage du programme PV-SALSA qui ont été les premiers à expérimenter les démarches nécessaires à l'établissement du contrat d'achat de l'énergie produite au tarif de 0,1525 Euros/kWh (voir annexe 9).



Graphique n°15 : les freins à la réalisation du projet

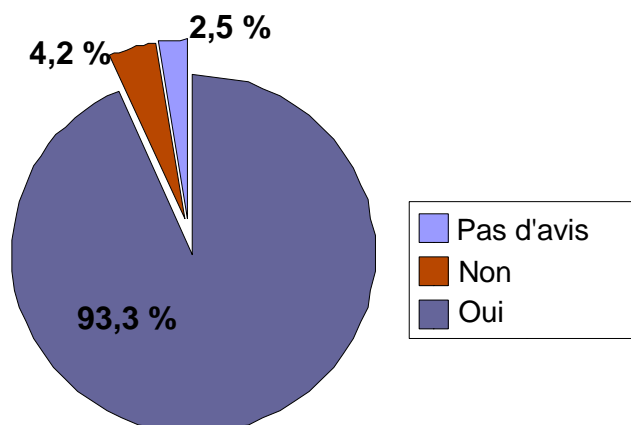
La recherche de financement est le principal frein identifié par 21,9% des maîtres d'ouvrage. Ce pourcentage varie par programme de façon exactement inverse aux démarches administratives : 40% des maîtres d'ouvrage du programme PHEBUS 93 contre 2,9% pour le programme PV-SALSA dont les maîtres d'ouvrages avaient comparativement beaucoup moins de démarches de recherche de financement à effectuer (voir annexe 9).

5% des maîtres d'ouvrage indiquent avoir rencontré des freins d'une autre nature comme par exemple la difficulté de trouver un artisan qualifié ou des problèmes contractuels avec le fournisseur de système.

Enfin, 22% des maîtres d'ouvrage estiment n'avoir rencontré aucun frein pour l'installation de leur système photovoltaïque.

4.5 Renouvellement de l'expérience

À la question « Seriez-vous prêts à renouveler cette expérience ? », les maîtres d'ouvrage interrogés répondent oui à 93,3% (voir graphique n°18).



Graphique n°18 – Maîtres d'ouvrage prêts à renouveler l'expérience

Ce témoignage massif des maîtres d'ouvrage en faveur du photovoltaïque permet de conclure que, du point de vue des utilisateurs de systèmes photovoltaïques, les aspects négatifs de cette filière dans son contexte français, à savoir sa faible voire absence de rentabilité financière, le volume des démarches administratives nécessaires pour la recherche de financement ou le raccordement au réseau et enfin le fait que les onduleurs tombent en panne, d'une façon statistique, au bout de 9 ans de fonctionnement, n'arrivent pas à contre-balancer les bénéfices que tirent les maîtres d'ouvrage de cette technologie, bénéfices principalement environnementaux pour les participants de ces programmes de démonstration.

Conclusion

Cette étude, portant sur 120 maîtres d'ouvrage ayant installé un système photovoltaïque dans les années 90 dans le cadre de projets de démonstration financés par la Commission Européenne, permet de faire le point sur la fiabilité de ces systèmes ainsi que sur la satisfaction générale des utilisateurs après de nombreuses années de fonctionnement.

Premier constat, sur 117 systèmes photovoltaïques en mesure de fonctionner, un seul était en panne au moment où cette enquête a été réalisée, soit moins de 1% des systèmes étudiés. D'après les données fournies par les maîtres d'ouvrage, la production moyenne de ces systèmes est relativement constante d'une année sur l'autre, aucune baisse significative n'ayant été remarquée.

Cependant, environ un tiers des systèmes étudiés ont connu, depuis leur mise en service, au moins une panne. L'analyse détaillée des pannes démontre que le principal problème des installations photovoltaïques est l'onduleur, 67 % des pannes étant dues à ce composant. Bien que ce type de panne surgisse parfois dès la première année de mise en service du système, le travail effectué sur le temps moyen entre deux pannes, le MTBF, montre que la durée de fonctionnement sans panne des onduleurs est bien conforme à la durée de 80 000 heures indiquée par les constructeurs.

Malgré ces pannes, avec 72,1% de très satisfaits et 23,5% de satisfaits, une très grande majorité des maîtres d'ouvrage considère les systèmes photovoltaïques comme fiables. Afin de conserver un taux de satisfaction élevé, il est donc important de bien expliquer aux maîtres d'ouvrage qu'il est normal qu'un onduleur, comme tous les appareils électroniques, tombe en panne au bout d'une certaine durée indiquée par les constructeurs.

Cette étude met par ailleurs en évidence que 50% des maîtres d'ouvrages estiment que le principal frein à l'aboutissement d'un projet d'installation de système photovoltaïque est la complexité administrative qui a été nécessaire au raccordement au réseau de distribution public et à la mise en place du contrat d'achat de l'énergie produite. Environ 22% des maîtres d'ouvrage estiment que le principal frein à leur projet a été la recherche de co-financements.

Enfin, 93% des maîtres d'ouvrage s'estiment prêts à renouveler cette expérience si l'occasion se présente. Ce témoignage massif des maîtres d'ouvrage en faveur du photovoltaïque permet de conclure que, du point de vue des utilisateurs de systèmes photovoltaïques, les aspects négatifs de cette filière dans son contexte français, à savoir sa faible voire absence de rentabilité financière, le volume des démarches administratives nécessaires pour la recherche de financement ou le raccordement au réseau et enfin le fait que les onduleurs tombent en panne, d'une façon statistique, au bout de 9 ans de fonctionnement, n'arrivent pas à contre-balancer les bénéfices que tirent les maîtres d'ouvrage de cette technologie, bénéfices principalement environnementaux pour les participants de ces programmes de démonstration.

Liste des annexes

- Annexe 1 : Questionnaire
- Annexe 2 : Production annuelle moyenne par programme
- Annexe 3 : nombre d'installations affectées par des pannes
- Annexe 4 : Motivations des maîtres d'ouvrage pour investir dans un système photovoltaïque
- Annexe 5 : Satisfaction concernant la fiabilité des systèmes
- Annexe 6 : Satisfaction concernant la production annuelle et la simulation de production
- Annexe 7 : Satisfaction concernant les aspects financiers
- Annexe 8 : Estimation de la rentabilité financière par les maîtres d'ouvrage
- Annexe 9 : Principaux freins rencontrés

Annexe 1 : Questionnaire

Enquête sur le fonctionnement des systèmes photovoltaïques



A retourner à :

Marie-Laure BRUNEL, Antoine LE ROUX, Jérôme LEBRETON
LP STER - IUT Tarbes
1 rue Lautréamont
65 000 TARBES

Contact : Marie-Laure BRUNEL

Tel ou email : 06.74.00.03.61 / marie-laure.brunel@laposte.net

Introduction - votre installation :

Référence de l'installation :

Puissance : Wc

Année de mise en service :

Coût initial de votre installation : €

Avez-vous augmenté la puissance de votre système photovoltaïque depuis sa mise en service initiale ? ☐ OUI ☐ NON

- Si oui, précisez la date de modification du système :

l'augmentation de puissance :Wc

le coût de cette augmentation de puissance : €

Le système photovoltaïque était-il déjà installé lorsque vous avez fait l'acquisition de votre maison ?

☐ NON, j'ai moi-même décidé d'investir dans un système photovoltaïque

☐ OUI, le système a été installé par les anciens propriétaires

- dans ce cas, indiquez l'année d'acquisition de votre maison :

I. Fonctionnement de votre installation

1. Votre installation est-elle toujours en fonctionnement ? ☐ OUI ☐ NON

- Si non, depuis quand est-elle arrêtée ?

- Pouvez-vous détailler les raisons de cette interruption ?

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

2. Votre installation a-t-elle été posée :

☐ par un professionnel

☐ par vous même

☐ je ne sais pas,
le système était déjà
installé lors de l'achat
de la maison

3. Avez-vous rencontré des pannes ? ☐ NON ☐ OUI, combien ?

4. Quel type de pannes avez-vous constaté ? (onduleur, module, câblage, raccordement réseau, parafoudre, etc...)

<i>Année(s)</i>	<i>Matériel(s)</i>	<i>Nombre de pannes</i>	<i>Origine de la panne</i>

Commentaires éventuels :

.....

.....

.....

5. Avez-vous fait appel à un dépanneur ? ☐ OUI ☐ NON

6. Avez-vous déjà changé de matériel ? ☐ OUI ☐ NON

7. Coût estimatif engendré par vos pannes : €

II. Suivi de la production

8. Indiquez la production cumulée de votre système photovoltaïque depuis sa mise en service (à relever sur le compteur de production) :..... kWh

9. Si vous les avez notées, indiquez nous chaque production annuelle de votre système :

<i>Années</i>	<i>Productions (kWh)</i>
2006	
2005	
2004	
2003	
2002	
2001	
2000	
1999	
1998	
1997	
1996	
1995	
1994	
1993	

10. Depuis que vous avez ce système, votre production annuelle est-elle :

☐ en baisse ☐ régulière ☐ en hausse ☐ je ne sais pas

11. Pensez vous que certains facteurs puissent avoir diminué la production annuelle de votre système (construction de bâtiments, croissance d'arbres, ...)?

☐ OUI ☐ NON

- si oui, précisez :

12. Nettoyez-vous vos panneaux photovoltaïques ? ☐ OUI ☐ NON

- Si oui, indiquez la fréquence de nettoyage :

III.Satisfaction

13. Pouvez vous évaluer votre niveau de satisfaction au sujet :

- de la fiabilité de votre installation photovoltaïque ?

<i>Pas satisfait du tout</i>	<i>Peu satisfait</i>	<i>Moyennent satisfait</i>	<i>Satisfait</i>	<i>Très satisfait</i>	<i>Pas d'avis</i>

- de la production annuelle par rapport à la simulation de production ?

<i>Pas satisfait du tout</i>	<i>Peu satisfait</i>	<i>Moyennent satisfait</i>	<i>Satisfait</i>	<i>Très satisfait</i>	<i>Pas d'avis</i>

- de l'impact visuel du système sur votre maison ?

<i>Pas satisfait du tout</i>	<i>Peu satisfait</i>	<i>Moyennent satisfait</i>	<i>Satisfait</i>	<i>Très satisfait</i>	<i>Pas d'avis</i>

- de l'image que vous donnez à votre entourage ?

<i>Pas satisfait du tout</i>	<i>Peu satisfait</i>	<i>Moyennent satisfait</i>	<i>Satisfait</i>	<i>Très satisfait</i>	<i>Pas d'avis</i>

- de votre investissement en terme financier?

<i>Pas satisfait du tout</i>	<i>Peu satisfait</i>	<i>Moyennent satisfait</i>	<i>Satisfait</i>	<i>Très satisfait</i>	<i>Pas d'avis</i>

14. Pensez-vous que votre investissement a été rentabilisé ou sera un jour rentabilisé ? ☐ OUI ☐ NON

- Si oui, en combien de temps estimez-vous qu'il a été ou qu'il sera rentabilisé ?

.....

15. Avez-vous recommandé à votre entourage d'investir dans ce type d'énergie renouvelable ?

.....

16. D'après vous, quel a été le principal frein à l'aboutissement de votre projet (financement, démarches administratives,) ?

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

17. Pourquoi avez-vous choisi d'installer, à l'époque, un système photovoltaïque ? (mettre un chiffre par ordre d'intérêt de 1 à 5)

- ... pour économiser de l'électricité
- ... pour participer à la lutte contre le changement climatique
- ... pour réduire les émissions de dioxyde de carbone
- ... pour vous parer contre l'épuisement du pétrole
- ... pour des raisons financières
- ... pour d'autres raisons :

18. Aujourd'hui, seriez-vous prêt(e) à renouveler cette expérience ?

☐ OUI ☐ NON

- Si oui, le feriez-vous pour les mêmes raisons qui vous ont conduit à installer, il y a quelques années, un système photovoltaïque ?

.....
.....

- Si oui, feriez-vous installer un système :

- ☐ de puissance inférieure
- ☐ de puissance identique
- ☐ de puissance supérieure
- ☐ je ne sais pas

Questions complémentaires :

Votre maison est-elle équipée d'appareils économes en énergie ?

☐ OUI ☐ NON

- si oui, pouvez-vous préciser lesquels (usage de lampe basse consommation, appareils électroménagers de classe économique, type de chauffage ...) :

.....
.....

Utilisez-vous d'autres sources d'Energies Renouvelables ? ☐ OUI ☐ NON

- Si oui, quel type ?

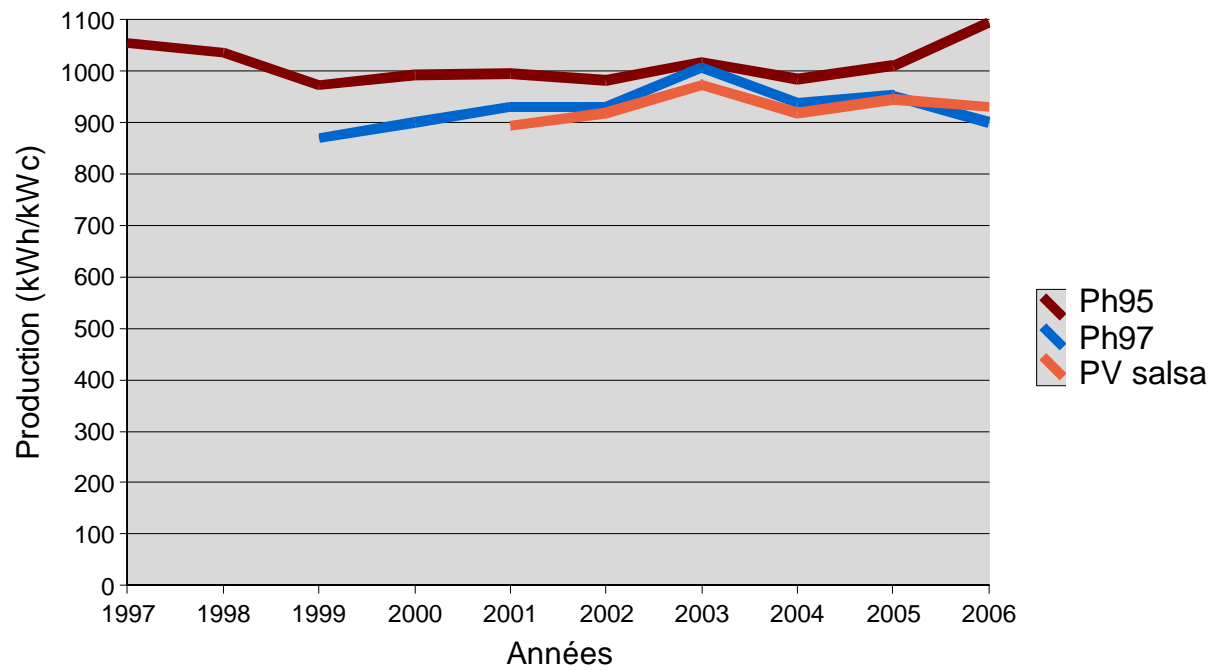
.....

Indiquez votre consommation d'électricité moyenne par an ?kWh

Partie libre - commentaires à rajouter :

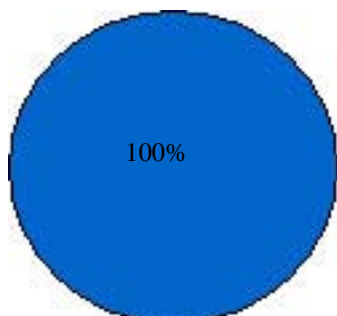
Nous vous remercions d'avoir contribué à notre enquête en répondant à ces questions.

Annexe 2 : Production annuelle moyenne par programme

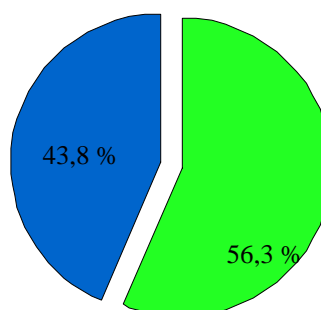


Annexe 3 : nombre d'installations affectées par des pannes

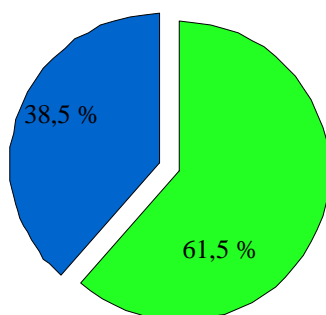
Phébus 93



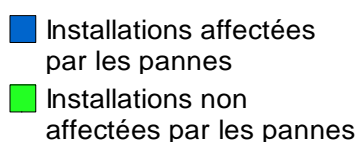
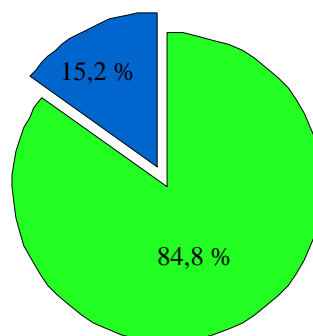
Phébus 95



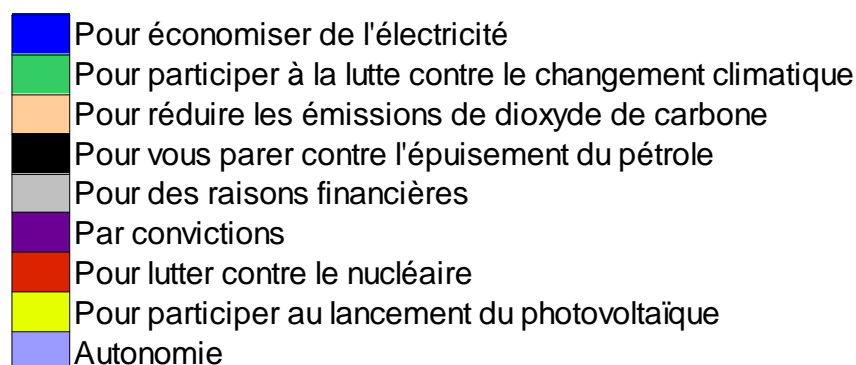
Phébus 97



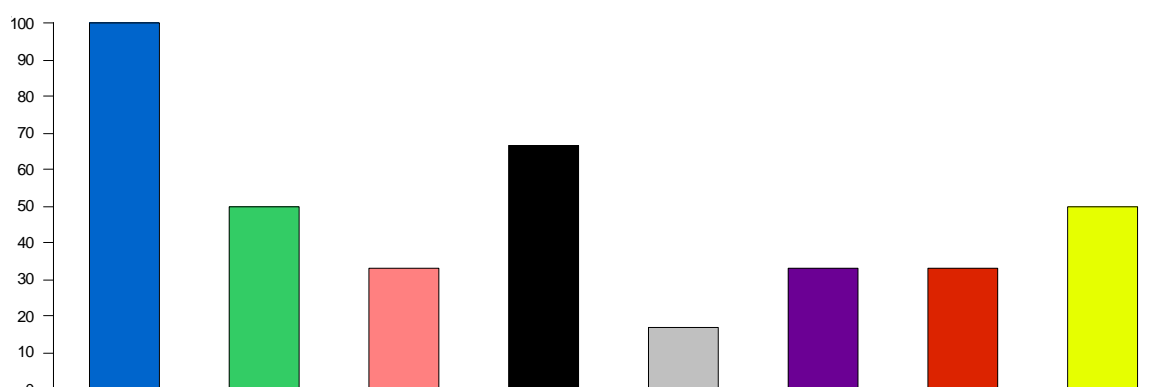
PV Salsa



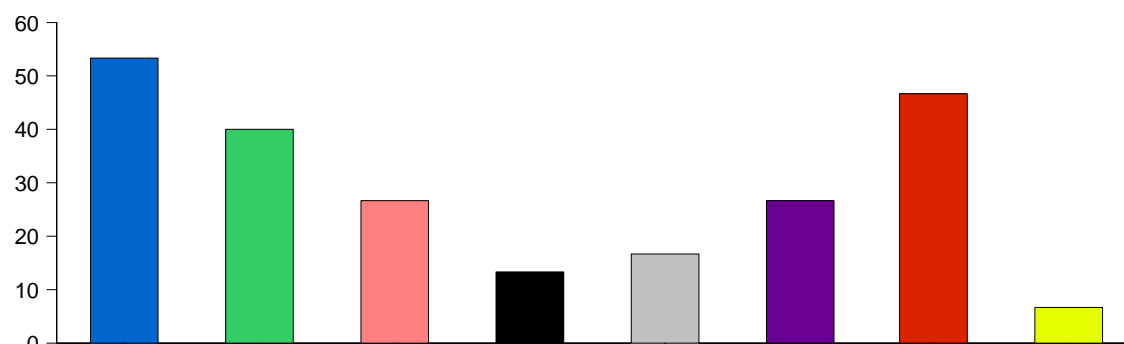
Annexe 4 : Motivations des maîtres d'ouvrage pour investir dans un système photovoltaïque



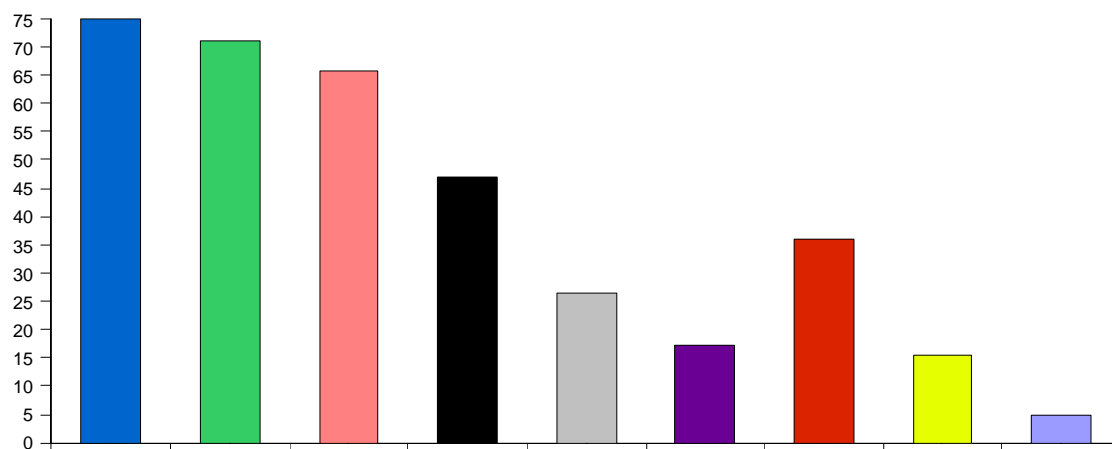
Phébus 93



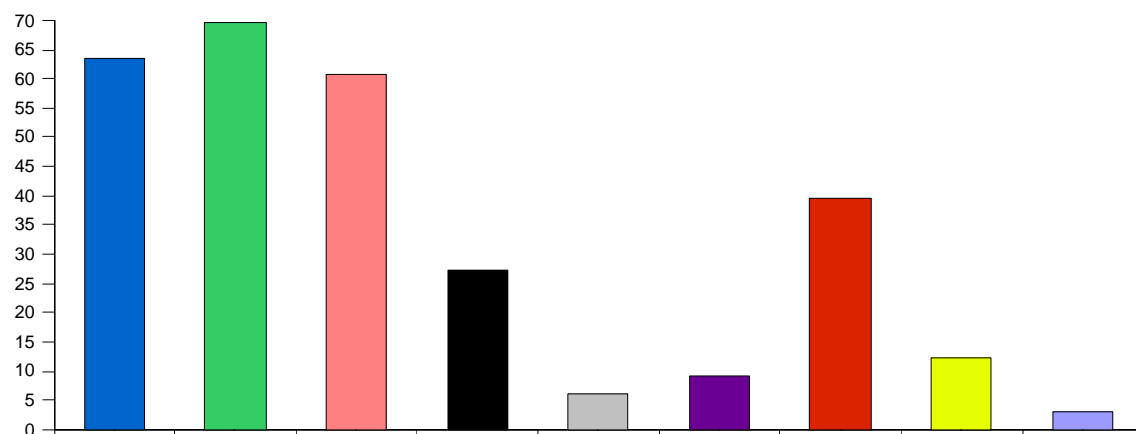
Phébus 95



Phébus 97

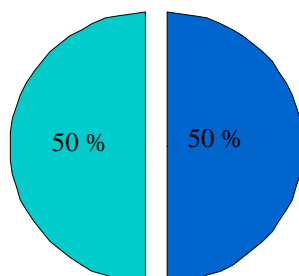


PV Salsa

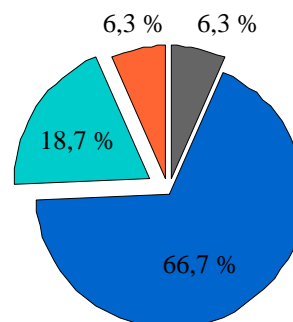


Annexe 5 : Satisfaction concernant la fiabilité des systèmes

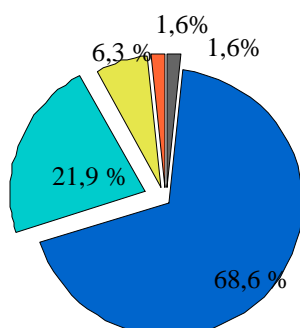
Phébus 93



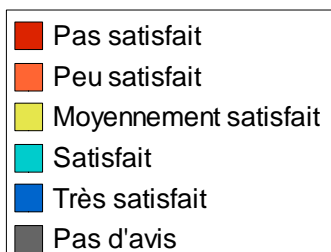
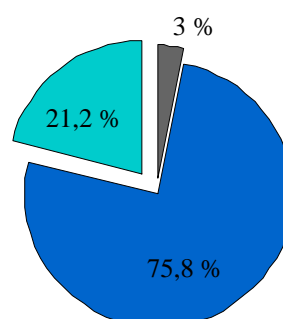
Phébus 95



Phébus 97

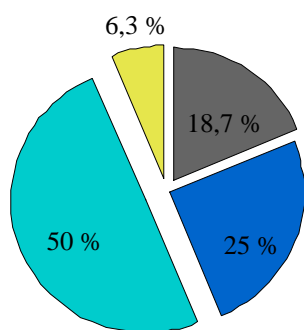


PV Salsa

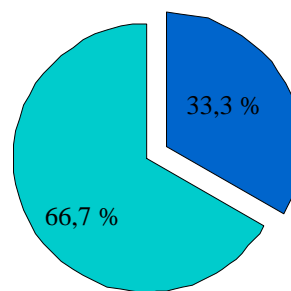


Annexe 6 : Satisfaction concernant la production annuelle et la simulation de production

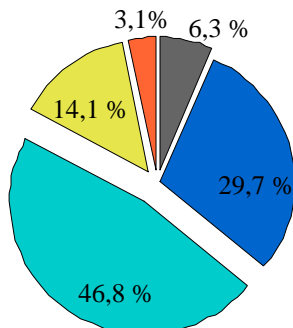
Phébus 93



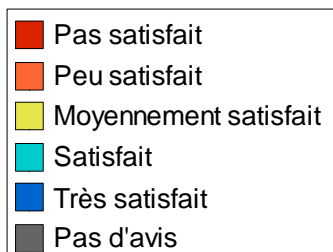
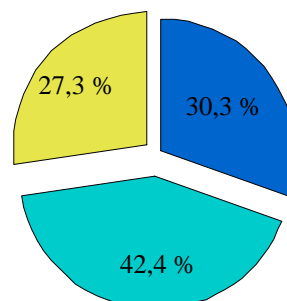
Phébus 95



Phébus 97

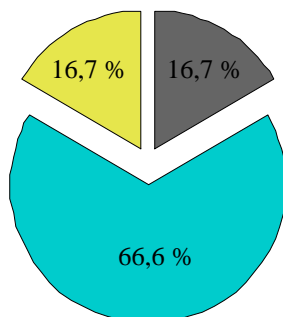


PV Salsa

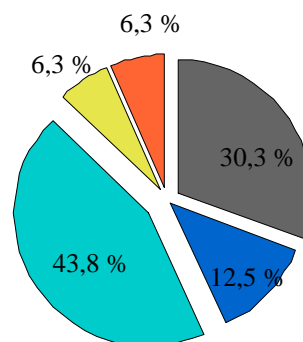


Annexe 7 : Satisfaction concernant les aspects financiers

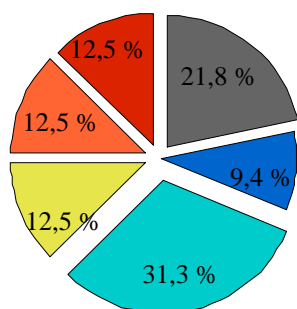
Phébus 93



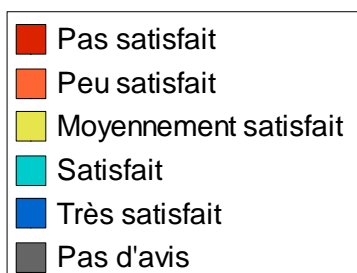
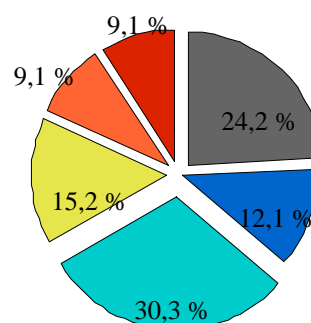
Phébus 95



Phébus 97

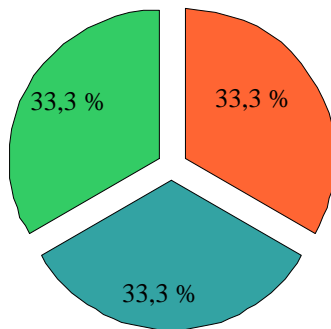


PV Salsa

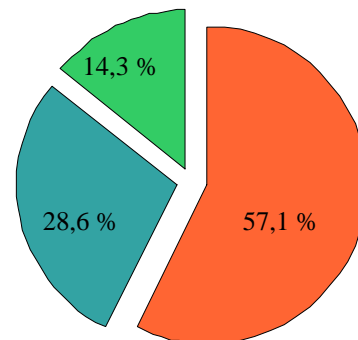


Annexe 8 : Estimation de la rentabilité financière par les maîtres d'ouvrage

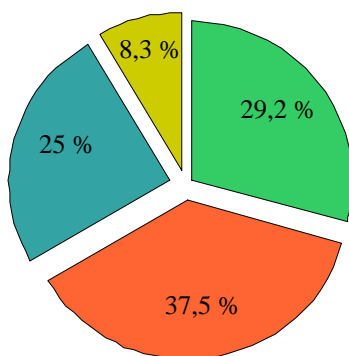
Phébus 93



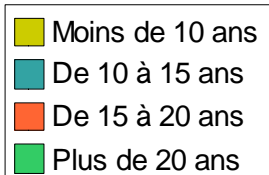
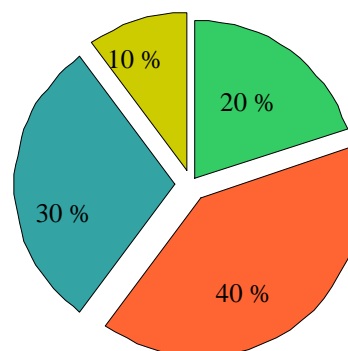
Phébus 95



Phébus 97



PV Salsa



Annexe 9 : Principaux freins rencontrés

%	Démarches Administratives	Financement	Autorisation de travaux	Fournisseur	Recherche d'un artisan compétent	Aucun
Phébus 93	20	40	0	0	0	40
Phébus 95	42,1	26,3	10,5	0	0	21
Phébus 97	59,7	18,2	0	1,3	2	18,2
PV Salsa	82,4	2,9	0	1,8	0	8,8