

Histoire de l'Aviation Solaire

André Noth, andre.noth@a3.epfl.ch
Laboratoire des Systèmes Autonomes, ETH Zürich, Suisse

1. Conjonction de deux domaines pionniers, le vol électrique et l'énergie photovoltaïque.

L'utilisation de l'énergie électrique pour des engins volants n'est pas récente. Le premier fut le dirigeable *France* qui, en 1884, gagna la course de 10 km entre Villacoublay et Medon. En ce temps là, le système électrique était supérieur à son seul rival, le moteur à vapeur. Mais avec l'arrivée des moteurs à explosion, les travaux sur la propulsion électrique d'engins volants furent abandonnés pendant presque un siècle [2].

Le 30 Juin 1957, le colonel H. J. Taplin du Royaume-Uni effectua officiellement le premier vol électrique radiocommandé avec son modèle « Radio Queen » qui utilisait un moteur à aimant permanent et une batterie zinc-argent. Malheureusement, il ne continua pas ses expériences. Les développements futurs dans ce



Gerald Pearson, Daryl Chapin and Calvin Fuller, inventeurs de la technologie photovoltaïque, 1954

domaine furent l'œuvre du pionnier allemand Fred Militky qui réussit son premier vol électrique en octobre 1957. Depuis lors, le vol électrique a constamment évolué avec les avancées technologiques des moteurs, des batteries et de l'électronique [12].



Radio Queen, 1957

Trois ans avant les expériences de Taplin et Militky, en 1954, la technologie photovoltaïque était née dans les laboratoires Bell. Daryl Chapin, Calvin Fuller et Gerald Pearson développèrent la première cellule photovoltaïque en silicium capable de convertir assez d'énergie solaire pour pouvoir alimenter des appareils conventionnels. D'abord à 4%, l'efficacité augmenta rapidement à 11% [13]. Il faudra deux décades avant de voir cette nouvelle énergie utilisée pour la propulsion d'avions électriques...

2. Les prémises de l'avion solaire ... en modélisme

Le 4 Novembre 1974, le premier vol d'un avion propulsé à l'énergie solaire eut lieu sur un lac salé à Camp Irwin, en Californie. **Sunrise I**, créé par R.J. Boucher de Astro Flight Inc. sous contrat avec ARPA, vola 20 minutes à une altitude d'environ 100 mètres durant son vol inaugural. Il avait une envergure de 9.76 m, pesait 12.25 kg et la puissance de sortie de ses 4096 cellules solaires était de 450 W [2]. Des records de vol de trois à quatre heures furent accomplis durant l'hiver, mais Sunrise I fut endommagé dans une tempête de sable. Ainsi, une version améliorée, **Sunrise II**, fut construite et testée le 12 septembre 1975. Avec la même envergure, le poids fut réduit à 10.21 kg et les 4480 cellules solaires étaient capables alors de délivrer 600 W grâce à leur efficacité de 14%. Après plusieurs jours de tests, cette seconde version fut aussi endommagée en raison d'une défaillance dans le système de commande. Malgré tout, l'histoire de l'avion solaire était en marche et sa première démonstration faite.



Sunrise II, 1975



Solaris, 1976

De l'autre côté de l'Atlantique, Helmut Bruss travaillait en Allemagne sur un modèle réduit solaire en été 1975 sans avoir eu connaissance du projet de Boucher. Malheureusement, en raison de problèmes de surchauffe de ses cellules, ces vols restèrent infructueux. Finalement, le premier en Europe fut son ami Fred Militky, une année plus tard avec **Solaris**. Le 16 Août 1976, il réalisa trois vols de 150 secondes atteignant une altitude de 50 m [1].



Solar Solitude, 1996

Depuis ce temps là, plusieurs aéromodélistes se sont lancés dans l'aventure de voler à l'énergie solaire, cette passion devenant de plus en plus abordable. Alors qu'au début l'autonomie n'était que de quelques secondes, elle se compta rapidement en minutes puis en heures... [1].

Quelques personnes se sont distinguées comme Dave Beck du Wisconsin, aux Etats-Unis, qui établit deux records dans la catégorie avion modèle réduit solaire F5 open SOL de la FAI. En août 1996, son **Solar Solitude** parcourut une distance de 38.84 km en ligne droite et deux ans plus tard, il atteignit l'altitude record de 1283 m [14,15]. Mais le maître de la catégorie est toujours

Wolfgang Schaeper qui détient maintenant tous les records de la catégorie: durée (11 h 34 mn 18 s), distance en ligne droite (48.31 km), gain en altitude (2065 m), vitesse (80.63 km/h), distance en circuit fermé (190 km) et vitesse en circuit fermé (62.15 km/h). Il accomplit ces performances avec **Solar Excel** de 1990 à 1999 en Allemagne [16].



Solar Excel, 1990



MikroSol, PiciSol, NanoSol 1995-1998

On peut mentionner aussi les modèles miniatures **MikroSol**, **PicoSol** and **NanoSol** du Dr. Sieghard Dienlin [17]. PicoSol, le plus petit, pèse seulement 159.5 g pour une envergure de 1.11 m, ses cellules solaires fournissant 8.64 W.

3. Le rêve du vol solaire habité

Après avoir volé des modèles réduits solaires et prouvé que c'était faisable avec des conditions d'illuminations suffisantes, le nouveau challenge qui fascina les pionniers à la fin des années 70 fut le vol habité propulsé uniquement par l'énergie du soleil.

Le 19 décembre 1978, les anglais David Williams and Fred To décollèrent **Solar One** pour son vol inaugural à Lasham Airfield, dans l'Hampshire [2,8]. D'abord censé être actionné par la force de l'homme afin de traverser la manche, ce monoplane conventionnel s'avéra trop lourd et fut ainsi converti à l'énergie solaire. Le concept était d'utiliser une batterie Ni-Cd afin stocker suffisamment d'énergie solaire pour des vols très courts. Les constructeurs étaient convaincus qu'avec des cellules plus efficaces comme celles de Sunrise, le vol serait possible sans batterie, mais leur prix exorbitant demeurait le facteur limitant.



Solar Riser, 1979

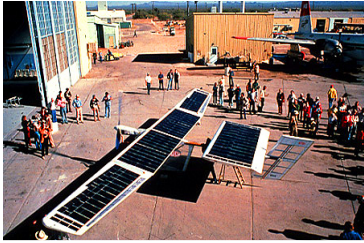
Le 29 Avril 1979, Larry Mauro vola pour la première fois **Solar Riser**, une version solaire de son planeur Easy Riser, à l'aéroport Flabob, en Californie. Les 350 W fournis par les panneaux solaires n'étaient pas suffisants pour alimenter le moteur directement et le principe d'utiliser une batterie fut ici aussi utilisé. Après trois heures de charge, le pack Ni-Cd pouvait alimenter le moteur pendant 10 minutes. Le plus long vol couvrit environ 800 m à une altitude entre 1.5 m et 5 m [2].

L'étape cruciale consistant à voler uniquement à l'énergie solaire sans système de stockage d'énergie fut franchie par le Dr. Paul B. McCready et AeroVironment Inc, la compagnie fondée en 1971 à Pasadena, en Californie. Après avoir démontré, le 23 août 1977, la faisabilité du vol actionné par la force humaine avec le Gossamer Condor, il accomplit le 12 Juin 1979 la traversée de la manche avec le modèle suivant, le Gossamer Albatross. Après ces succès, Dupont sponsorisa MacCready dans sa tentative de modifier une version réduite du Gossamer Albatross, renommée **Gossamer Penguin**, en un avion solaire habité. R.J. Boucher, designer de Sunrise I & II, opéra en tant que consultant sur le projet. Il fournit la motorisation et les cellules solaires récupérées sur les deux modèles endommagés de Sunrise.



Gossamer Penguin, 1980

Le 18 mai 1980, le Gossamer Penguin, avec à son bord le fils de MacCready, Marshall, âgé de 13 ans, accomplit ce qui est considéré comme le *premier vol solaire habité*.



Solar Challenger, 1981

Pourtant, le Gossamer Penguin n'était pas sûr pour un pilote volant à plus de quelques mètres du sol. La compagnie Dupont, encouragée par les résultats du Gossamer Penguin, sponsorisa MacCready pour la construction d'un nouvel avion qui devait traverser la manche. Ce fut le **Solar Challenger**, un monoplan de 14.2 m d'envergure couvert de 16'128 cellules solaires offrant 2500 W. Le 7 juillet 1981, il relia Pontoise-Cormeilles près de Paris à la base RAF de Manston à côté de Londres en 5 heures 23 minutes, couvrant 262.3 km, avec l'énergie solaire pour seule source et aucun stockage.

Alors qu'ils étaient en Angleterre, l'équipe Challenger fut surprise d'entendre pour la première fois parler d'un concurrent allemand qui essayait de réaliser exactement le même exploit au même moment à partir de Biggin Hill airport. Günter Rochelt était le designer et constructeur de **Solair I**, un avion de 16 m d'envergure basé sur le Canard 2FL de AviaFiber qu'il avait légèrement modifié et recouvert de 2499 cellules solaires fournissant 1800 W. Il invita les membres de Challenger à le visiter et R.J. Boucher, qui accepta l'invitation, fut très impressionné par la qualité de l'avion [2]. Pourtant, avec un peu plus de la moitié de l'aile recouverte de cellules, Solair I n'avait pas assez d'énergie pour l'ascension et embarquait ainsi une batterie Ni-Cd de 22.7 kg. Rochelt ne réussit pas la traversée de la manche cette année mais le 21 Août 1983, il vola Solair I, principalement à l'énergie solaire mais utilisant également quelques thermiques, durant 5 heures et 41 minutes.



Solair I, 1981



Sunseeker, 1990

En 1986, Eric Raymond entreprit le design de **Sunseeker** aux Etats-Unis. Solar Riser en 1979, Solar Challenger deux ans plus tard et une rencontre avec Günter Rochelt en Allemagne l'avait convaincu de construire son propre avion solaire. A la fin de 1989, Sunseeker fut testé en tant que planeur et durant le mois d'août 1990, il traversa les USA en 21 vols solaires totalisant 121 heures dans les airs.

En Allemagne, la ville de Ulm organisait régulièrement des compétitions aéronautiques en mémoire de Albrecht Berblinger, un pionnier des machines volantes 200 ans plus tôt. Pour l'édition 1996, ils offrirent des prix attractifs à qui développerait un avion solaire utilisable facilement et qui serait capable de rester dans les airs avec la moitié de l'énergie qu'offre un beau et clair jour d'été [19]. Cette compétition initia des activités à plusieurs endroits dans le monde et plus de 30 projets furent



Solair II, 1998

annoncés, mais seule une poignée arriva le jour J et un seul fut prêt au vol. Le 7 juillet, le planeur solaire **Icaré 2** du Prof. Rudolf Voit-Nitschmann de l'université de Stuttgart University gagna le prix de 100,000 DM [3,20]. Deux autres concurrents intéressants étaient **O Sole Mio** de l'équipe italienne du Dr. Antonio Bubbico et **Solair II** de l'équipe du Prof. Günter Rochelt qui tira profit de l'expérience acquise avec Solair I. Les deux projets furent présentés à un stade avancé de développement, mais ils n'étaient pas encore en état de vol le jour du concours. Le premier vol de Solair II prit place deux ans plus tard, en Mai 1998.



Icare 2, 1996

4. On the way to high altitude long endurance (HALE) platforms and eternal flight



Pathfinder, 1994-1998

Après le succès de Solar Challenger, le gouvernement américain finança AeroVironment Inc. pour étudier la faisabilité du vol électrique solaire de longue durée au-dessus de 19.812 km (65000 ft). Le prototype final HALSOL valida l'aérodynamique et la structure pour cette approche, mais il souffrait des technologies de ses sous-systèmes, principalement le stockage de l'énergie qui était inapproprié pour ce genre de mission. Ainsi, le projet prit la direction de la propulsion solaire avec **Pathfinder** qui accomplit son vol inaugural à Dryden en 1993. Lorsque le financement de ce programme se termina l'avion de 30 m d'envergure et de 254 kg devint une partie du programme « Environmental Research

Aircraft Sensor Technology » (ERAST) de la NASA qui commença en 1994. En 1995, Pathfinder supplanta le record d'altitude de Solar Challenger lorsqu'il atteignit 15'392 m (50'500 ft) et deux ans plus tard, il établit le record à 21'802 m (71'530 fr). En 1998, il fut modifié en une nouvelle version, **Pathfinder Plus**, qui avait une envergure agrandie et de nouvelles technologies pour les cellules solaires, l'aérodynamique, la propulsion et les systèmes. Le principal objectif était la validation de ces nouveaux éléments avant la construction de son successeur, le Centurion.

Centurion était considéré comme étant un prototype de démonstration de technologies pour une future flotte d'avions solaires capable de rester dans les airs pendant des semaines, voire des mois, exécutant des missions scientifiques, d'imagerie ou servant de relais de communication [18]. Avec une envergure double comparé à Pathfinder, il était capable d'emporter 45 kg de capteurs et d'instruments de mesure pour des études sur l'environnement terrestre et également 270 kg d'équipement de communication et d'imagerie à plus de 24'400 m (80'000 ft) d'altitude. Une batterie au lithium fournissait assez d'énergie pour deux à cinq heures de vol après le couché du soleil, mais elle était insuffisante à assurer le vol de nuit.



Centurion, 1997-1999



Helios, 1999-2003

Le dernier prototype de la série, baptisé **Helios**, devait être l'ultime "avion éternel", embarquant un stockage d'énergie pour le vol de nuit. Les deux buts premiers de la NASA étaient de démontrer le vol solaire à une altitude proche de 30'480 m (100'000 ft) et le vol continu pendant plus de 24 heures, incluant au moins 14 heures au-dessus de 15'240 m (50,000 ft). En 2001, Helios atteignit son premier but près de Hawaii avec un record du monde non-officiel à une altitude de 29'524 m (96'863 ft) et 40 minutes de vol au dessus de 29'261 m (96'000 ft). Malheureusement, il ne remplit jamais son second objectif puisque qu'il fut détruit lorsqu'il chuta

dans l'océan pacifique le 26 Juin 2003 en raison d'une défaillance structurelle.

En Europe, plusieurs projets furent également conduits sur des plateformes volantes de longue durée et haute altitude (HALE). Au "DLR Institute of Flight Systems" **Solitaire** fut développé dans le cadre d'une étude de 1994 à 1998 [9,21]. Le démonstrateur de l'avion solaire fut conçu dans l'optique de missions durant plus d'une année à la latitude de l'Europe du Nord, toute l'énergie étant fournie par ses panneaux solaires. Jusqu'à présent, un modèle réduit de 5.2 m d'envergure fut construit afin de valider le concept d'avoir des panneaux solaires ajustables pour une récupération optimale des rayons du soleil. Des tests de vol ont été conduits et plusieurs projets sont toujours menés avec cette version réduite [7].



Solitaire, 1998



Heliplat, 2000

Le projet Helinet, financé par un projet européen, a été mené de Janvier 2000 à Mars 2003 avec l'objectif d'étudier la faisabilité d'une plateforme solaire de haute altitude et longue endurance de 73 m d'envergure et pesant 750 Kg. **Heliplat** serait utilisé comme relais de communication et pour l'observation de la Terre. Le projet incluait dix partenaires européens et conduisit à la construction d'un prototype structurel à l'échelle de 24 m d'envergure. Politecnico di Torino, coordinateur général du projet, mène toujours des recherches sur Heliplat et aussi sur une nouvelle plateforme nommée **Shampo** [9,10].

Mais l'objectif d'Helios de prouver la faisabilité du vol perpétuel pour un avion inhabité fut atteint le 22 avril 2005. Alan Cocconi, président et fondateur de AcPropulsion, pilota son **Solong** durant 24 h 11 min utilisant non seulement l'énergie solaire provenant de ses panneaux solaires mais également des thermiques ascendantes, ces courants d'air chaud remontant depuis le sol du désert. L'avion de 4.75 m d'envergure et de 11.5 kg confirma ses capacités 2 mois plus tard le 3 juin avec un vol de 48 h 16 min dans le désert du Colorado en Californie.



Solong, 2005



Zephyr, 2005

QinetiQ, une compagnie anglaise, est également très active dans le domaine des plateformes solaires HALE. Deux avions **Zephyr** ont été testés au Nouveau Mexique en Décembre 2005, atteignant une durée de vol maximum de 6 heures et l'altitude de 7'925 m (26'000 ft). Après un vol de 18 heures en Juillet 2006, un des deux Zéphyr surpassa le record officiel de durée de vol pour des engins non habités avec un vol de 54 heures, au Nouveau Mexique, le 10 septembre 2007, atteignant une altitude maximale de 17'786 m (58,355 ft). Pesant 30 kg pour 16 m d'envergure, l'avion utilisait l'énergie

solaire pour l'ascension et passait à l'utilisation des batteries lorsque le crépuscule arrivait. QinetiQ s'attend dans le futur à des vols de plusieurs mois à une altitude supérieure à 15'240 m (50'000 ft) [22].

Zephyr fut récemment sélectionné comme plateforme de base pour le système de capteurs à distance Flaming **Mercator** dans le cadre du projet Pegasus [23]. La plateforme visée devrait être capable d'emporter une charge utile de 100 kg afin de remplir des missions telles que surveillance de feux de forêt, de côtes maritime, cartographie de villes, détection de fuites de pétrolier et bien d'autres.

Le prochain rêve consistant à voler continuellement avec un pilote à bord deviendra peut-être réalité avec **Solar-Impulse** [27], un projet annoncé officiellement en Suisse en 2003. Un noyau de vingt-cinq spécialistes, entourés par environ 40 conseillers scientifiques de plusieurs universités dont l'EPFL, travail sur l'avion projeté à 80 m d'envergure pour un poids de 2000 kg. Après la réalisation d'un prototype de 60 m en 2007-2008 et celle du prototype final en 2009-2010, un vol autour du monde devrait avoir lieu en mai 2011 avec une escale sur chaque continent.



Solar-Impulse, 2009



Sky-Sailor, 2004

Un autre endroit où les avions solaires pourraient jouer un rôle majeur est l'exploration planétaire. En 2004, le projet **Sky-Sailor** [28] financé par l'Agence Spatiale Européenne (ESA) fut lancé à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) avec l'objectif d'étudier et de développer un démonstrateur fonctionnel sur Terre d'avion solaire pour l'exploration de Mars. Par rapport aux rovers et aux autres projets d'aéronefs sur la planète rouge, Sky-Sailor pourrait voler durant des mois et couvrir de très longues distances, exécutant des missions scientifiques simples. Le premier prototype, pesant 2.4

kg pour une envergure de 3.2 m, fut testé avec succès durant un vol autonome de plus de 27 heures en Juin 2008. Il prouva ainsi pour la première fois la faisabilité du vol continu sans stockage d'énergie potentielle en montant en altitude ou en utilisant des vents thermiques.

Bien évidemment, l'Histoire est toujours en mouvement. Au début 2007, la DARPA annonçait le lancement d'un nouveau projet de plateforme solaire de haute altitude [29]. Le programme Vulture vise à explorer le développement d'une plateforme capable de maintenir dans les airs une charge utile de 453 kg (1000 lb) consommant 5 kW pendant une période ininterrompue de 5 ans...

Bibliographie

Thèse de doctorat de l'auteur

- A. Noth, **Design of Solar Powered Airplanes for Continuous Flight**, Phd Thesis, Autonomous Systems Lab, ETH Zürich, 2008
http://www.sky-sailor.ethz.ch/docs/Thesis_Noth_2008.pdf

Livres et publications

- [1] H. Bruss, **Solar Modellflug Grundlagen, Entwicklung, Praxis**, Verlag für Technik und Handwerk, Baden-Baden, 1991
- [2] R. J. Boucher, **History Of Solar Flight**, AIAA Paper 84-1429, June 1984
- [3] R. Voit-Nitschmann, **Solar- und Elektroflugzeuge - Geschichte und Zukunft**, Jahrbuch aus Lehre und Forschung der Universität Stuttgart, Online Jahrbuch 2001
- [4] P. B. MacCready et alii, **Sun-Powered Aircraft Designs**, Journal of Aircraft, Vol. 20 No. 6, June 1983. pp. 487-493
- [5] A. J. Colozza, **Preliminary Design of a Long-Endurance Mars Aircraft**, AIAA 26th Joint Propulsion Conference, AIAA 90-2000, Orlando, FL, July 16-18, 1990
- [6] A. Noth, R. Siegwart and W. Engel, **Autonomous Solar UAV for Sustainable Flight** in: Advances in Unmanned Aerial Vehicles, State of the Art and the Road to Autonomy, edited by Kimon P. Valavanis, Springer Verlag, 2007.
- [7] Bernhard Keidel, **Auslegung und Simulation von hochfliegenden, dauerhaft stationierbaren Solardrohnen**, PhD Thesis, Lehrstuhl für Flugmechanik und Flugregelung, Technische Universität München, 2000.
- [8] D. Stinton, **The Design of the Aeroplane**, Second edition, Blackwell Science, Oxford, UK, 2001.
- [9] T. C. Tozer, D. Grace, J. Thompson, and P. Baynham, **UAVs and HAPs - Potential Convergence for Military Communications**, IEE Colloquium on "Military Satellite Communications", 6th June 2000.
- [10] G. Romeo, G. Frulla, **HELIPLAT: high altitude very-long endurance solar powered UAV for telecommunication and Earth observation applications**, The Aeronautical Journal 108 (2004) 277–293.
- [11] Autorengruppe, Stadt Ulm, **Fliegen mit Licht**. Dokumentation über solares Fliegen und den Solarflugzeugwettbewerb Berblinger 1996 der Stadt Ulm, Süddeutsche Verlagsgesellschaft Ulm (2000), ISBN 3-88294-240-1

Sites Internet

- [12] History of Electric Flight
<http://www.iroquois.free-online.co.uk/hist.htm>
- [13] History of Solar
http://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf
- [14] Solar Solitude Official Website
<http://personalpages.tds.net/~dbeck/>
- [15] The World Air Sports Federation
<http://www.fai.org>
- [16] Website of MFG-Markdorf – Solar Flight of Wolfgang Schaeper
<http://www.mfg-markdorf.de/rekorde/index.htm>
- [17] Die kleinsten Solar-Modellflugzeuge der Welt
<http://home.main-rheiner.de/siegward.dienlin>
- [18] NASA, Solar Powered Fact Sheet. "Solar-Power Research and Dryden"
<http://trc.dfrc.nasa.gov/Newsroom/FactSheets/PDF/FS-054-DFRC.pdf>
- [19] History of Berblinger Contest
<http://www.ifb.uni-stuttgart.de/icare/Englisch/flugberengl.html>
- [20] Icare at Uni Stuttgart
<http://www.ifb.uni-stuttgart.de/icare/Englisch/icare2eng.htm>
- [21] Solitair at DLR
http://www.dlr.de/ft/Desktopdefault.aspx?tabid-1388/1918_read-3385/
- [22] QinetiQ's Zephyr UAV achieves flight record
http://www.qinetiq.com/home/newsroom/news_releases_homepage/2007/3rd_quarter/qinetiq_s_zephyr_uav.html
- [23] Pegasus Project
<http://www.pegasus4europe.com>
- [24] Human-and solar-powered aircraft discovered new frontiers, The Dryden X-Press, Wednesday, May 8, 2002
http://www.dfrc.nasa.gov/Newsroom/X-Press/stories/050802/res_history.txt.html
- [25] Fliegen mit Sonnenkraft
<http://www.solarflugzeuge.de>
- [26] Pathfinder and the Development of Solar Rechargeable Aircraft
http://www.llnl.gov/etr/pdfs/07_94.1.pdf
- [27] Solar-Impulse Website
<http://www.solar-impulse.com>
- [28] Sky-Sailor Website
<http://sky-sailor.epfl.ch>
- [29] Vulture Project Website
<http://www.darpa.mil/ucar/programs/vulture.htm>
- [30] Solar powered UAV history
<http://www.tfot.info/articles/51/solar-uav-to-set-a-new-world-record.html>

Solar Powered Aircrafts Flown To Date

Version 2.02, July 2008

This research was achieved in the framework of the Sky-Sailor Solar Airplane Project at ETHZ. Its goal is to list and study all the solar airplanes that were built and flown.

Nr. Name	Year Designer, Manufacturer	Source	Wing & Fuselage					Weight	
			Wingspan [m]	Mean Chord [m]	Length [m]	Wing Area [m ²]	Aspect Ratio []	Empty Weight [kg]	Total Weight with Pilot/Payload [kg]
1 Sunrise	1974 R.J. Boucher from Astro Flight, USA	Book "Solar Modellflug", page 9	9.75	0.86	4.38	8.36	11.4	12.25	
2 Sunrise II	1975 R.J. Boucher from Astro Flight, USA	Book "Solar Modellflug", page 9	9.75	0.86	4.38	8.36	11.4	10.21	
3 Solaris	1976 Fred Militky, Germany	Book "Solar Modellflug", page 10	2.06	0.20	0.41	1.03	10.3	0.61	
4 Ra	1977 Prof. Dr. V. Kuppicks	Book "Solar Modellflug", page 12	1.37	0.12	0.84	0.16	11.9	0.19	
5 Utopie	1977 Dr. Roland Stuck, France	Book "Solar Modellflug", page 13	2.53	0.20	1.32	0.51	12.6	0.97	
6 Solar-Student	1978 Prof. Dr. V. Kuppicks	Book "Solar Modellflug", page 14	1.96	0.22	1.04	0.43	8.91	0.93	
7 Solar One	1978 David Williams and Fred To	R. J. Boucher, History Of Solar Flight, AIAA Paper 84-1429, June 1984	20.72	1.17	6.70	24.15	17.8	104.32	?
8 Solar-X4	1979 H. Schenk	Book "Solar Modellflug", page 15	2.50	0.47	1.13	0.42	14.8	0.85	
9 Solar Silberfuchs	1979 Günter Rochelt	Book "Solar Modellflug", page 17	4.00	0.25	1.52	1.00	16	2.10	
10 Solar Riser	1979 Larry Mauro	http://www.airventuremuseum.org/collection/aircraft/UFM-Mauro Solar Riser.asp	9.14	1.04	2.44	9.52	8.78	55.8	124.7
11 Solar-HB79	1980 Helmut Bruss	Book "Solar Modellflug", page 16	2.80	0.24	1.45	0.67	11.7	1.51	
12 Solar I	1980 Günter Rochelt	http://www.delago.de/solar/ESoI2-7.htm	16.00	1.38	5.40	22.00	14	120.00	200.0
13 Gossamer Penguin	1980 Dr. Paul B. MacCready from Aerovironment	http://www1.nasa.gov/centers/dryden/pdf/120308main_FS-054-DFRC.pdf	21.64	2.63		57.00	8.22	30.84	67.7
14 Solar-HB80	1981 Helmut Bruss	Book "Solar Modellflug", page 19	2.84	0.23	1.48	0.65	12.5	1.72	
15 Solar Challenger	1981 Dr. Paul B. MacCready from Aerovironment	http://www1.nasa.gov/centers/dryden/pdf/120308main_FS-054-DFRC.pdf	14.80	1.48	9.22	21.83	9	99.79	153.0
16 Solus Solar	1984 Helmut Bruss, F.W. Biesterfeld	Book "Solar Modellflug", page 20	3.20	0.29	0.88	0.93	11	2.20	
17 Poly	1986 Helmut Bruss	Book "Solar Modellflug", page 21	3.24	0.29	0.88	0.97	10.8	2.48	
18 Combi	1987 Peter Hartwig	Book "Solar Modellflug", page 23	2.96	0.26	0.85	0.77	11.4	2.29	
19 Solariane	1987 Franz Weissgerber, Ernst Schöberl	Book "Solar Modellflug", page 24	3.08	0.28	1.72	0.85	11.2	1.80	
20 Helios (model)	1989 Erich Töpfer	Book "Solar Modellflug", page 26	2.14	0.18		0.39	11.8	1.40	
21 Bloch	1989 Edwin Bloch	Book "Solar Modellflug", page 26	2.90	0.24		0.70	12	1.25	
22 Grosholz	1989 Rainer Grosholz	Book "Solar Modellflug", page 26	3.07	0.19		0.60	15.8	1.85	
23 Combi 2	1989 Helmut Bruss	Book "Solar Modellflug", page 28	2.95	0.28	1.54	0.77	11.3	1.70	
24 Ikaros	1989 Franz Weissgerber	Book "Solar Modellflug", page 28	2.50	0.23		0.58	10.8	1.80	
25 Bleher	1989 Wolfgang Bleher	Book "Solar Modellflug", page 26	2.00	0.24		0.49	8.18	1.37	
26 Romarino	1989 Urs Schaller	Book "Solar Modellflug", page 26	2.00	0.20		0.40	10	1.80	
27 Sol-e-moi	1989 Alfred Hitzler	Book "Solar Modellflug", page 26	3.00	0.17		0.50	18	2.10	
28 Wolf	1989 Josef Wolf	Book "Solar Modellflug", page 26	3.00	0.21		0.63	14.3	1.60	
29 WS-Solar	1989 Wener Schleidt	Book "Solar Modellflug", page 26	2.50	0.22		0.55	11.3	1.55	
30 Ariane Ultra	1989 Franz Weissgerber	Book "Solar Modellflug", page 26	1.98	0.21	1.14	0.41	11	3.02	
31 Solar Voyager	1990 Volker Klein	Deutsche Museum, Flugwerft Schleißheim	3.20	0.25		0.79	13	1.30	
32 Mardini	1990 Hans-Jakob Sommerauer	Book "Solar Modellflug", page 29	2.40	0.25		0.60	9.6	2.50	
33 Solisolar	1990 Edwin Bloch	Book "Solar Modellflug", page 29	2.98	0.23		0.69	12.9	1.23	
34 PB 26-FL	1990 Marco Buholzer	Book "Solar Modellflug", page 29	2.60	0.22		0.58	11.8	2.30	
35 Solarbaby	1990 Werner Dettweiler	Book "Solar Modellflug", page 29 & 106	1.70	0.16		0.28	10.4	1.25	
36 Bleher	1990 Wolfgang Bleher	Book "Solar Modellflug", page 29	2.00	0.22		0.44	9.03	1.55	
37 Uccello	1990 Josef Kapfer	Book "Solar Modellflug", page 29	2.70	0.23		0.63	11.5	1.90	
38 Sole Fiorentino	1990 Franz Weissgerber	Book "Solar Modellflug", page 29	2.50	0.17		0.43	14.6	1.20	
39 Soli	1990 Ernst Schöberl	Book "Solar Modellflug", page 29	2.08	0.18		0.38	11.5	1.50	
40 Playboy	1990 Thomas Bley	Book "Solar Modellflug", page 29	2.40	0.19		0.45	12.8	1.35	
41 WS12 (then WS16)	1990 Dr. Wolfgang Schaeper	Book "Solar Modellflug", page 29	2.50	0.16	1.10	0.41	15.2	0.84	
42 Solar Flyer	1990 Peter Hartwig	Book "Solar Modellflug", page 104	2.64	0.23	1.48	0.61	11.5	1.60	
43 Blue Chip	1990 Hans W. Müller	Book "Solar Modellflug", page 108	2.20	0.23	1.25	0.50	9.66	0.75	
44 Solarmax	1990 Erich Töpfer	Book "Solar Modellflug", page 110	3.48	0.30	1.59	1.10	11.6	2.54	
45 Solisolar 89-2	1990 Edwin Bloch	Book "Solar Modellflug", page 111	2.98	0.23	1.34	0.68	13.1	1.24	
46 Phönix	1990 Jens Stattler	Book "Solar Modellflug", page 112	2.62	0.21	1.29	0.56	12.2	1.18	
47 Sunseeker	1990 Eric Raymond	http://www.solar-flight.com/slink.html						?	?
48 Solar UHU	1991 Graupner (Ref. 4274)	http://members.ebay.co.uk/ws/eBayISAPI.dll?ViewItem&page&user=&auxv	2.30	0.23	1.20	0.53	10	1.45	
49 Blue-Wing	1991 Norbert Ladenburger, Germany	"Aufwind", Issue 2, 1992	2.34	0.18	1.05	0.42	13	0.75	
50 Solar Schilti 1	1991 Jean-Pierre Schiltknecht	FMT Sonderdruck aus FMT 1-4/1992	1.74	0.19	1.16	0.34	9	0.70	
51 Solar Schilti 2	1991 Jean-Pierre Schiltknecht	RC Modely, Issue 4, 1997	1.99	0.18	1.05	0.36	11.1	0.82	
52 Silizi Solar	1991 Horst Groner	Flug- und Modelltechnik 423-4/91	2.25	0.21	1.30	0.47	10.7	1.08	
53 Solix	1991 Ernst Schöberl	Flug- und Modelltechnik 443-12/92	2.37	0.20	1.30	0.48	11.8	1.05	
54 Solar mini challenger	1992 Astro Flight	http://www.bekkoame.ne.jp/~sakazaki/fwind/list-e.html	1.55	0.18		0.28	8.5	0.94	
55 Rival-8 Solaris	1992 Palo Lishak, Slovakia	http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=291266	1.96	0.22	1.13	0.43	8.91	0.66	
56 Pathfinder	1994 AeroVironment, NASA	http://www1.nasa.gov/centers/dryden/pdf/120308main_FS-054-DFRC.pdf	29.50	2.40	3.60	70.80	12.3	207.00	252.0
57 MikroSol	1995 Sieghard Dienlin	http://home.main-reiner.de/sieghard.dienlin/	1.13					0.19	
58 Solar II	1996 Günter Rochelt	http://www.delago.de/solar/ESoI2-7.htm	20.00	0.86	6.12	17.00	23.5	140.0	330.0
59 Icare II	1996 UNI Stuttgart, Rudolf Voit-Nitschmann	http://www.uni-stuttgart.de/wechselwirkungen/vw2001/nitschmann.pdf	25.00	1.03	7.70	25.70	24.0	273.00	360.0
60 Lo 120 Solar	1996 Hugo Post	Book "Fliegen mit Licht", page 123	15.46	1.03		16.00	14.9	?	
61 Solarflugzeug	1996 Uwe Heinemann	Book "Fliegen mit Licht", page 123	18.00	1.50		27.00	12	190.00	280.0
62 O sole mio	1996 Dr. Antonio Bubbico	http://www.uni-stuttgart.de/wechselwirkungen/vw2001/nitschmann.pdf	20.00	1.23		24.50	16.3	130.00	220.0
63 Solar Solitude	1996 Dave Beck	http://personalpages.tds.net/~dbeck/	2.70	0.20		0.55	13.3	2.00	
64 NanoSol	1996 Sieghard Dienlin	http://home.main-reiner.de/sieghard.dienlin/	1.11					0.16	
65 Centurion	1997 AeroVironment, NASA	http://www1.nasa.gov/centers/dryden/pdf/120308main_FS-054-DFRC.pdf	61.80	2.40	3.60	148.32	25.8	533.00	862.0
66 Trossollmuffel	1997 Bernd Bossmann	http://www.delago.de/ariane/Eintrmod.htm	2.50	0.25		0.62	10.1	1.14	
67 Global Flyer	1997 Helmut Bruss	FMT Magazine, Issue 7, 1998	2.50	0.23	1.20	0.57	11	1.04	
68 Pathfinder Plus	1998 AeroVironment, NASA	http://www1.nasa.gov/centers/dryden/pdf/120308main_FS-054-DFRC.pdf	36.30	2.40	3.60	87.12	15.1	247.50	315.0
69 Solar Excel	1998 Wolfgang Schaeper	http://il-windpower.homelinux.net/SunSailor/cf2000.pdf	2.10	0.16	1.02	0.35	12.8	0.72	
70 Solitair	1998 DLR Institute of Flight Systems	http://www.dlr.de/ft/desktopdefault.aspx/tabid-1358/1891_read-3339/	5.20					?	
71 PicoSol	1998 Sieghard Dienlin	http://home.main-reiner.de/sieghard.dienlin/	0.99					0.13	
72 LFMA	1998 Louis Fourdan, Michel Astier, France	Louis Fourdan	1.90	0.25		0.47	7.76	1.20	
73 Helios	1999 AeroVironment, NASA	http://www1.nasa.gov/centers/dryden/pdf/120308main_FS-054-DFRC.pdf	75.30	2.48	3.60	186.60	30.4	600.00	930.0
74 Sunrazor (Sunriser)	2000 Patrick Berry	The Sunriser - A Design Study in Solar Powered Flight.pdf	2.70	0.30		0.81	9.06	1.10	
75 Goldcap 2	2001 Helmut Bruss	http://www.dienlin.de/sieghard/ModellTechnik/Bildergalerie.html						?	
76 Solarus	2001 Jonas Romblad	http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=136218	2.30	0.19		0.44	12	0.48	
77 FlyG	2002 Royal Institute of Technology, KTH	http://130.237.36.221/cdio/old_projects/sap/index.html	6.00	0.60	2.70	3.60	10	10.00	
78 Solar Pleaser	2003 Unknown	http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=88868	1.04	0.15	1.01	0.15	7	0.25	
79 No Name	2003 Matt Keennon	http://aero.stanford.edu/Reports/AIAA20040001b.pdf	0.14	0.015	0.12	0.00	9.33	0.0017	
80 Solar Splinter	2003 Paul Breed	http://www.rasdoc.com/splinter/	4.27	0.35	2.13	1.50	12.2	4.50	
81 Sol-Mite	2004 Ralph Bradley	http://www.parmodels.com/ralphs_models.htm	0.81	0.12		0.10	6.5	0.13	
82 Sky-Sailor	2005 André Noth, Walter Engel, Roland Siegwart, ETH Zürich	http://sky-sailor.epfl.ch	3.20	0.24	1.82	0.78	13.2	2.50	
83 Zephyr	2005 QinetiQ	http://www.qinetiq.com	18.00	1.55		27.90	11.6	30.00	
84 Solong	2005 Alan Cocconi from AcPropulsion	http://www.acpropulsion.com	4.75	0.32		1.50	15	12.60	
85 NanSun	2006 Troy Tegeder	http://contentdm.lib.byu.edu/ETD/image/etd1723.pdf	3.20	0.40	2.60	1.28	8	4.10	
86 Howie Mark	2006 Louis Dube, Joshua Alves, Corey Ohnstad	University of Nevada	2.43	0.20		0.49	12.2	0.45	
87 SunSailor	2006 Technion IIT, Haifa, Israel	http://il-windpower.saymoo.org/SunSailor.html	4.20	0.32	2.20	1.35	13.1	3.60	
88 Aphelion	2006 Carl Engel and Adam Woodworth from MIT	http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=572000	3.13	0.22		0.70	14	?	
89 2.765 g Solar MAV	2007 Brian Daniels	http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=731011	0.14	0.04	0.15	0.0057	3.41	0.0022	
90 SolFly	2007 Helmut Schweig	http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=691420	0.07					<0.001	
91 Micro-Mite	2007 Ralph Bradley	http://www.parmodels.com/ralphs_models.htm	0.20	0.05		0.01	4	0.0095	
92 Sun-Surfer I	2007 Niels Diepeveen, ETH Zürich	http://sky-sailor.epfl.ch/publications.htm	0.77	0.00	0.73	0.07	8.5	0.12	
93 Sun-Surfer II	2007 Beat Fuchs, ETH Zürich	http://sky-sailor.epfl.ch/publications.htm	0.78	0.11	0.74	0.09	7.03	0.188	

Contact Any comment, advice or additional record is welcome

André Noth
Autonomous Systems Lab
ETH Zürich, CLA E 16.2
Tannenstrasse 3
CH-8092 Zürich, Switzerland
Office: +41 44 632 89 52
Fax: +41 44 632 11 81
E-Mail: andre.noth@a3.epfl.ch
www: http://sky-sailor.epfl.ch
www: http://www.asl.ethz.ch