

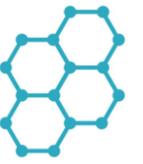
11. L'énergie solaire

11.1 – Histoire de l'énergie solaire

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

Département de génie mécanique

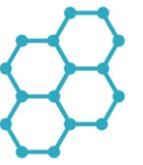
Question



ENR2020

- À quelle époque remontent les premières utilisations de l'énergie solaire?
 - A. Elles remontent au 7^e siècle AEC avec la concentration solaire;
 - B. Elles remontent à la préhistoire;
 - C. Au 5^e siècle AEC avec les étangs solaires permettant de récupérer le sel après évaporation;
 - D. Au 40^e siècle AEC avec l'architecture chinoise du néolithique qui permet de capter le soleil d'hiver et bloquer le soleil d'été.
 - E. A Becquerel et à la découverte de l'effet photovoltaïque

Question



ENR2020

- À quelle époque remontent les premières utilisations de l'énergie solaire?
 - Elles remontent à la préhistoire;
 - On réfère ici à "l'utilisation" et non pas nécessairement à une technologie. Dès que les humains ont pu comprendre le mouvement du soleil, ils ont recherché l'ombre pour se reposer, des grottes exposées au sud pour se réchauffer, et le soleil pour sécher des aliments, des peaux ou encore eux-mêmes.
 - On pourrait dire que 4000 ans AEC constitue l'une des premières applications technologiques du solaire passif.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- L'Antiquité et le Moyen Âge
- La Renaissance
- Le 19^e siècle
- Le 20^e siècle
- Le 21^e siècle
- Conclusion

Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs de la capsule***
- L'Antiquité et le Moyen Âge
- La Renaissance
- Le 19^e siècle
- Le 20^e siècle
- Le 21^e siècle
- Conclusion

Introduction et objectifs

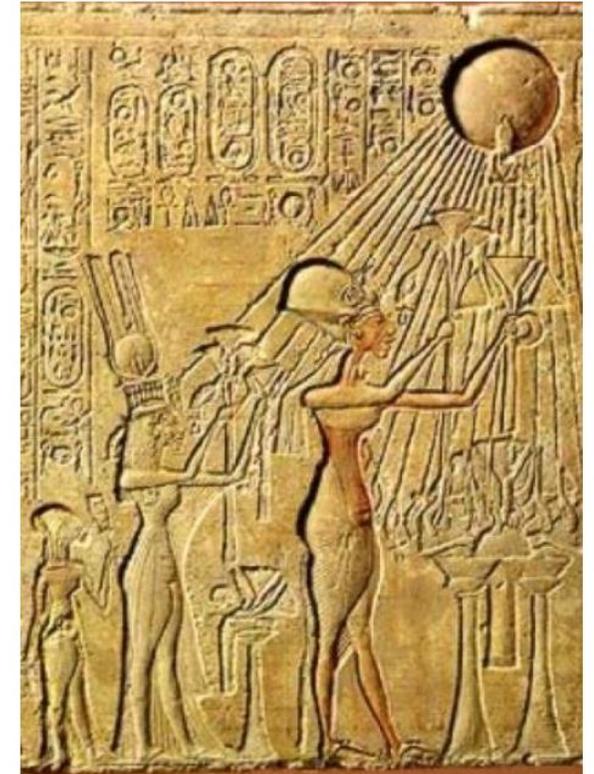
- Lorsque l'on y réfléchit bien, l'usage de l'énergie solaire ne date pas d'hier. Toutefois, son usage massif est très récent.
- En raison des coûts de production sans cesse décroissants, les collecteurs de type PV sont en voie d'éclipser toutes les autres technologies solaires.
- Il semble que les années 2020 pourraient voir un point de non retour pour les technologies thermiques à grande échelle.

Introduction et objectifs

- Objectifs de cette présentation
 - Présenter les **principaux** jalons de l'histoire de l'énergie solaire.
 - Induire une réflexion sur :
 - Le fait que la plupart des principes aujourd'hui appliqués étaient connus, documentés, et démontrés avant la révolution industrielle
 - Le jaillissement soudain de la technologie au 21^è siècle

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- ***L'Antiquité et le Moyen Âge***
- La Renaissance
- Le 19^e siècle
- Le 20^e siècle
- Le 21^e siècle
- Conclusion



L'Antiquité et le Moyen Âge

- Le séchage des viandes et du grain date de la préhistoire.

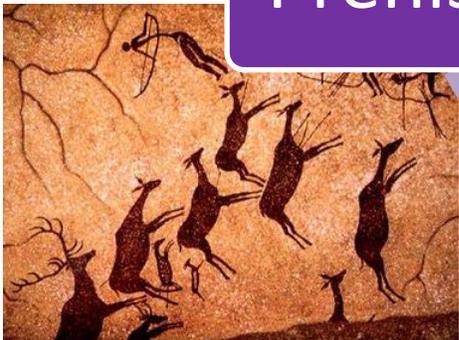
Préhistoire

40 s. AEC

- Les Chinois du néolithique ont des maisons avec ouvertures au sud pour capter le soleil d'hiver et des toitures bloquant le soleil d'été.

- Première mention de la concentration du rayonnement afin de démarrer des feux à distance à l'aide de lentilles.

7^e s. AEC



L'Antiquité et le Moyen Âge

- Des étangs solaires sont employés pour recueillir le sel après évaporation.

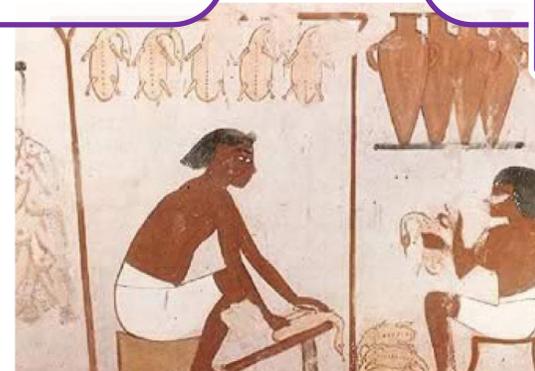
5^e s. AEC

4^e s. AEC

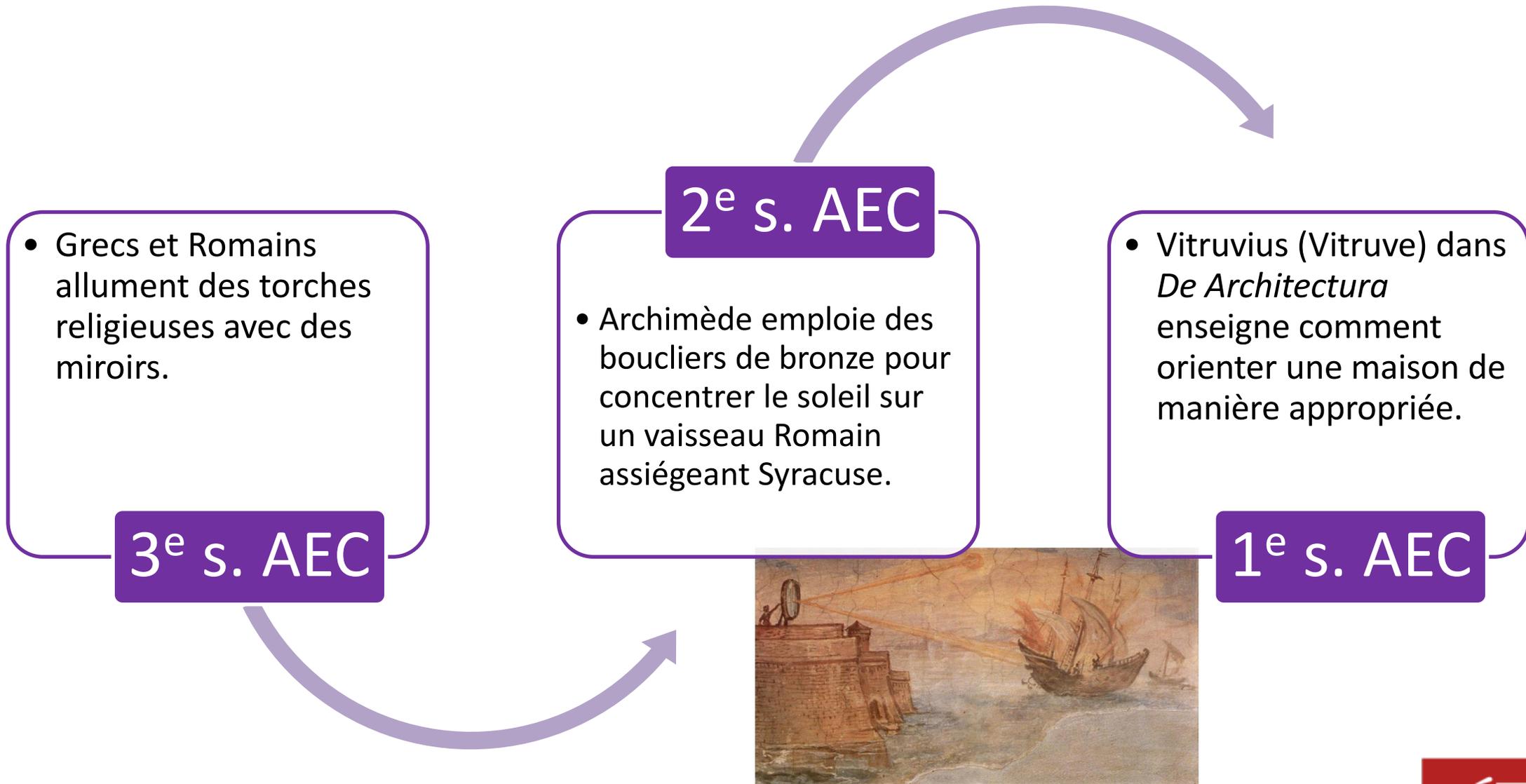
- Grecs et Romains font comme les Chinois. Aristote lui-même enseigne comment profiter du soleil d'hiver et se prémunir du soleil d'été.

- A Rome, des fenêtres (*fenestra*) en mica font leur apparition pour favoriser l'effet de serre.

1^{er} s. AEC



L'Antiquité et le Moyen Âge



L'Antiquité et le Moyen Âge

- À leur tour, les Chinois allument des torches religieuses avec des miroirs

20 EC

1^{er} s. EC

- Les bains Romains du 1^{er} au 4^e siècle avaient de larges fenêtres au sud pour recueillir le rayonnement solaire.

- Les salles de soleil sur les habitations sont si populaires que l'empereur légifère pour garantir le droit au soleil.

6^e s. EC



Courtesy of Susan Szczepanski, NREL

L'Antiquité et le Moyen Âge

- Le peuple Anasazi en Amérique du Nord construit ses habitations face au Sud pour capter le soleil d'hiver

1200 EC

300-1200 EC

- A Matera en Italie, les habitations sont construites à flanc de falaise pour chauffer au soleil d'hiver.

- Période intellectuelle sombre où rien de neuf ne fut vraiment inventé, On applique ce qui était connu. Point.

Moyen âge



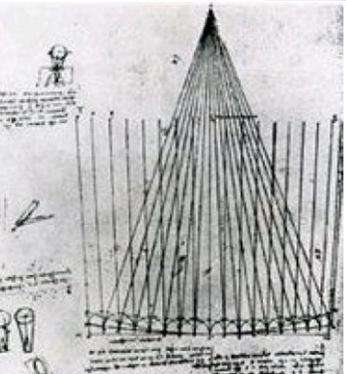
Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- L'Antiquité et le Moyen Âge
- ***La Renaissance***
- Le 19^e siècle
- Le 20^e siècle
- Le 21^e siècle
- Conclusion

La Renaissance

- Leonardo da Vinci, inquiet de la déforestation, invente plusieurs machines solaires.

16^e s.



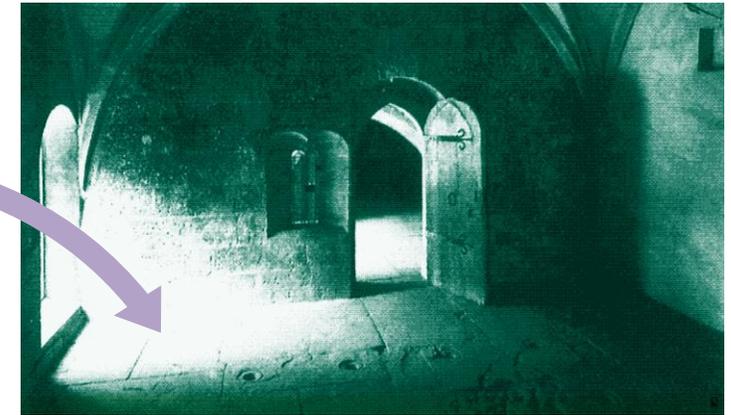
16^e s.

- Apparitions de serres de culture pour plantes exotiques



- Amélioration des techniques passives pour stocker l'énergie solaire.

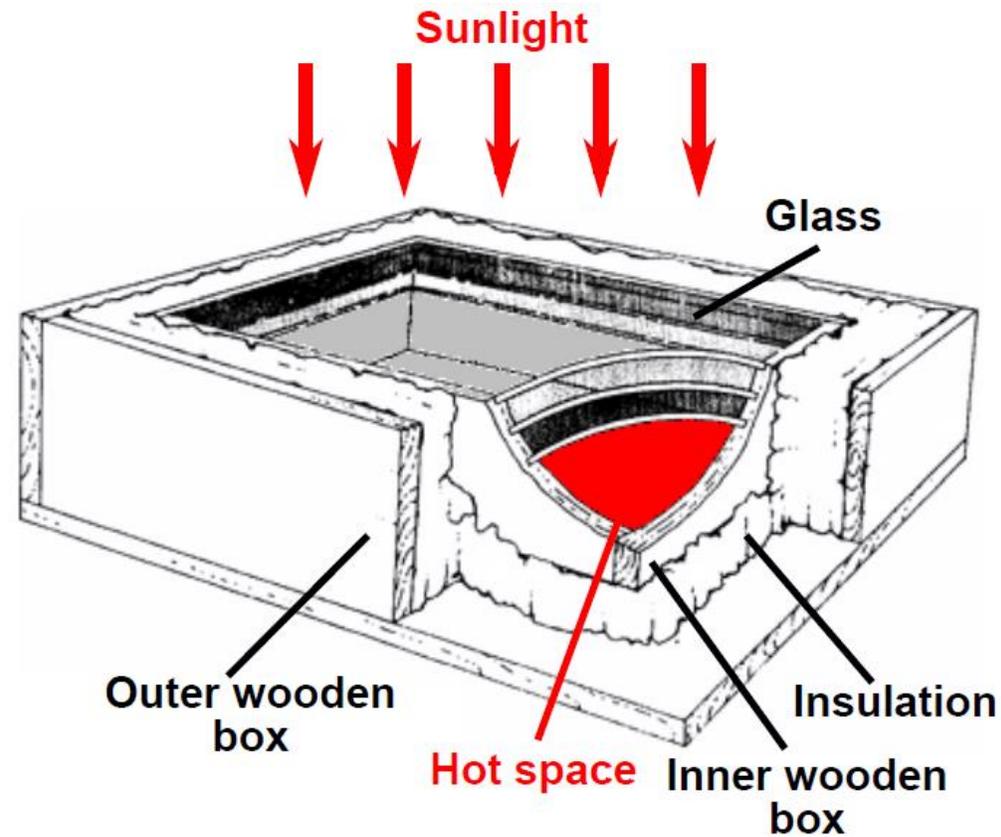
17^e s.



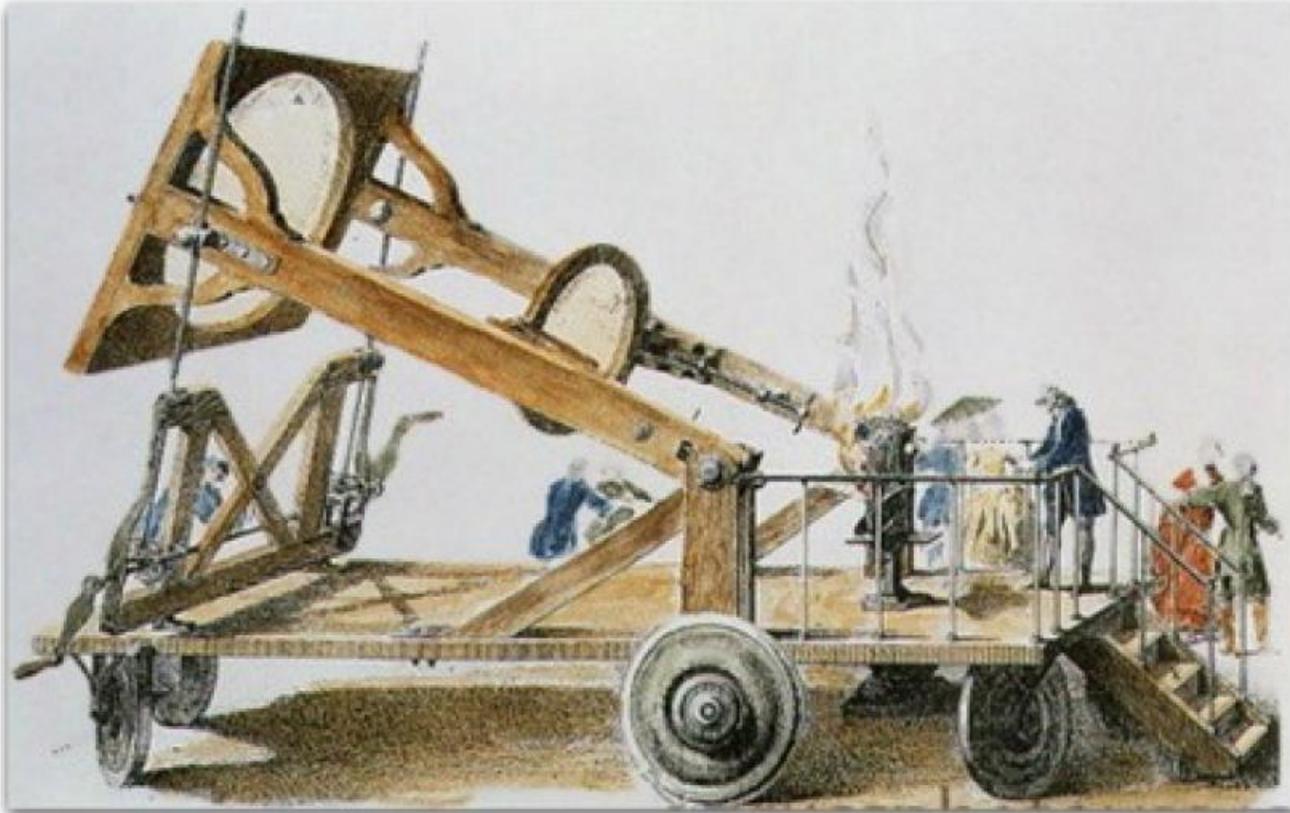
La Renaissance

- Le Suisse Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799) invente le collecteur solaire thermique.
- Cet appareil fut amélioré par plusieurs par la suite.

18^e s.



La Renaissance



- Antoine de Lavoisier (1743-1794) met au point un four solaire pouvant atteindre 1750°C.
- L'appareil était principalement constitué de deux lentilles concentriques.

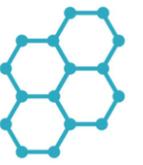
18^e s.

Lavoisier, conscient des effets de la combustion du charbon sur le climat, voulait trouver une alternative à la puissance développée par les combustibles fossiles.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- L'Antiquité et le Moyen Âge
- La Renaissance
- ***Le 19^e siècle***
- Le 20^e siècle
- Le 21^e siècle
- Conclusion

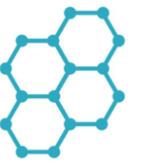
Question



ENR2020

- Qui a découvert que l'énergie solaire pouvait directement être convertie en puissance sans passer par la vapeur?
 - A. Abel Pifre
 - B. John Ericsson
 - C. Samuel P. Langley
 - D. Heinrich Hertz
 - E. Leonid Brejnev

Question



ENR2020

- Qui a découvert que l'énergie solaire pouvait directement être convertie en puissance sans passer par la vapeur?
 - John Ericsson (1803-1889) employait une variation du moteur Stirling pour démontrer que l'on peut directement convertir l'énergie solaire en puissance, **sans passer par la vapeur.**

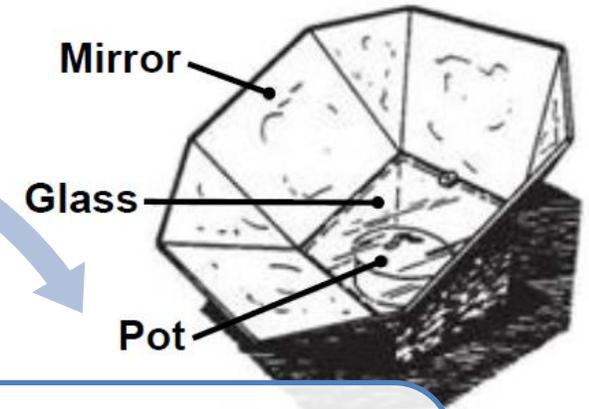
Le 19^e siècle

- Stirling demande un brevet pour son économiseur employé par Kelvin pour produire de l'électricité à partir du soleil

1816

1836

- John Frederick William Herschel (1792-1871) améliore le collecteur et cuit des aliments.
- Il invente l'actinomètre qui mesure le rayonnement solaire



- Le collecteur de William Adams fut le plus performant pendant plusieurs années.
- 72 miroirs de 17 x 10.
- 2.5 HP obtenu d'un moteur à vapeur

1878



Le 19^e siècle

1839 – 1899 : Découverte des phénomènes et propriétés de base des matériaux photovoltaïques

- Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque en expérimentant avec une cellule électrolytique.

1839

- Willoughby Smith (1828-1891) découvre la photoconductivité du sélénium : sa résistance électrique baisse lorsqu'il est exposé à la lumière.

1873

- William Grylls Adams et Richard Evans Day découvrent que le sélénium peut produire de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière.

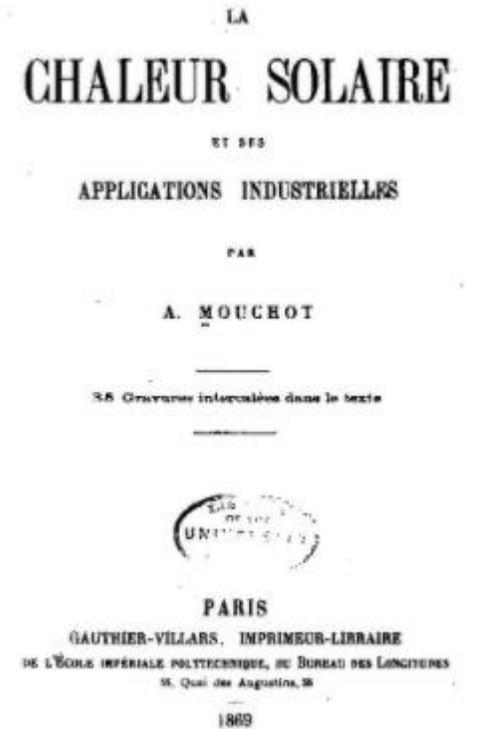
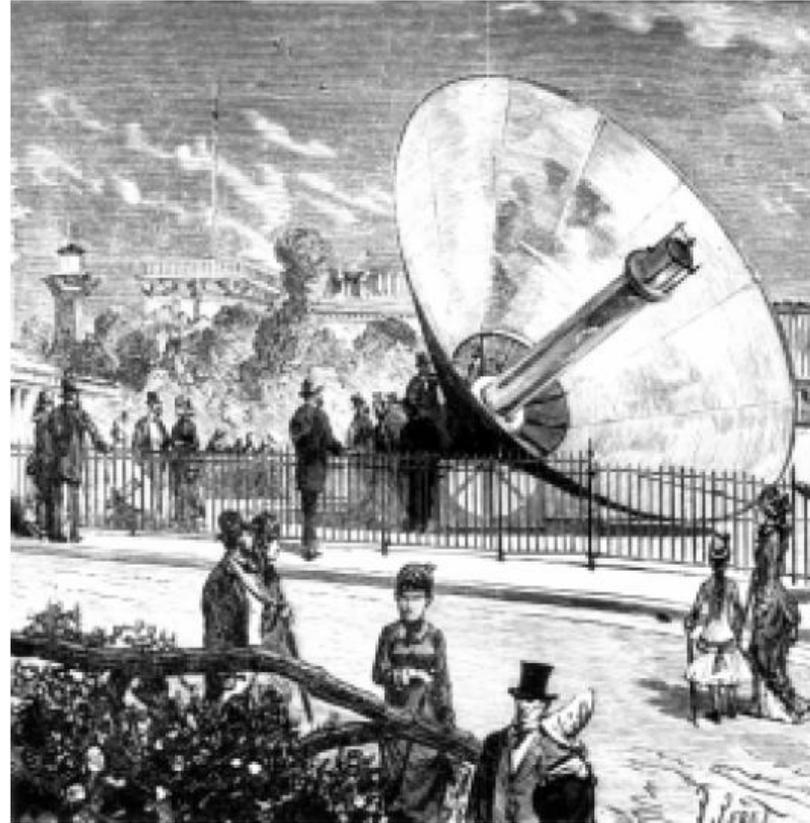
1876



Le 19^e siècle

- Le mathématicien Augustin Mouchot (1825-1912) améliore et applique la concentration solaire à plusieurs domaines.
- Sa plus grande machine implique une parabole recouverte d'argent de $18,6\text{m}^2$ et de 5,4 m de diamètre.
- Elle actionnait le premier moteur à vapeur

1866



Mouchot était motivé par ses convictions que les ressources naturelles ne seraient pas suffisantes pour assouvir les besoins de l'industrie.

Le 19^e siècle

1883

- Samuel P. Langley, invente le bolomètre, qui sert à mesurer la lumière des étoiles les plus faibles et les rayons de chaleur du soleil.

- Charles Fritts, un inventeur américain, décrit les premières cellules solaires à base de plaquettes de sélénium.

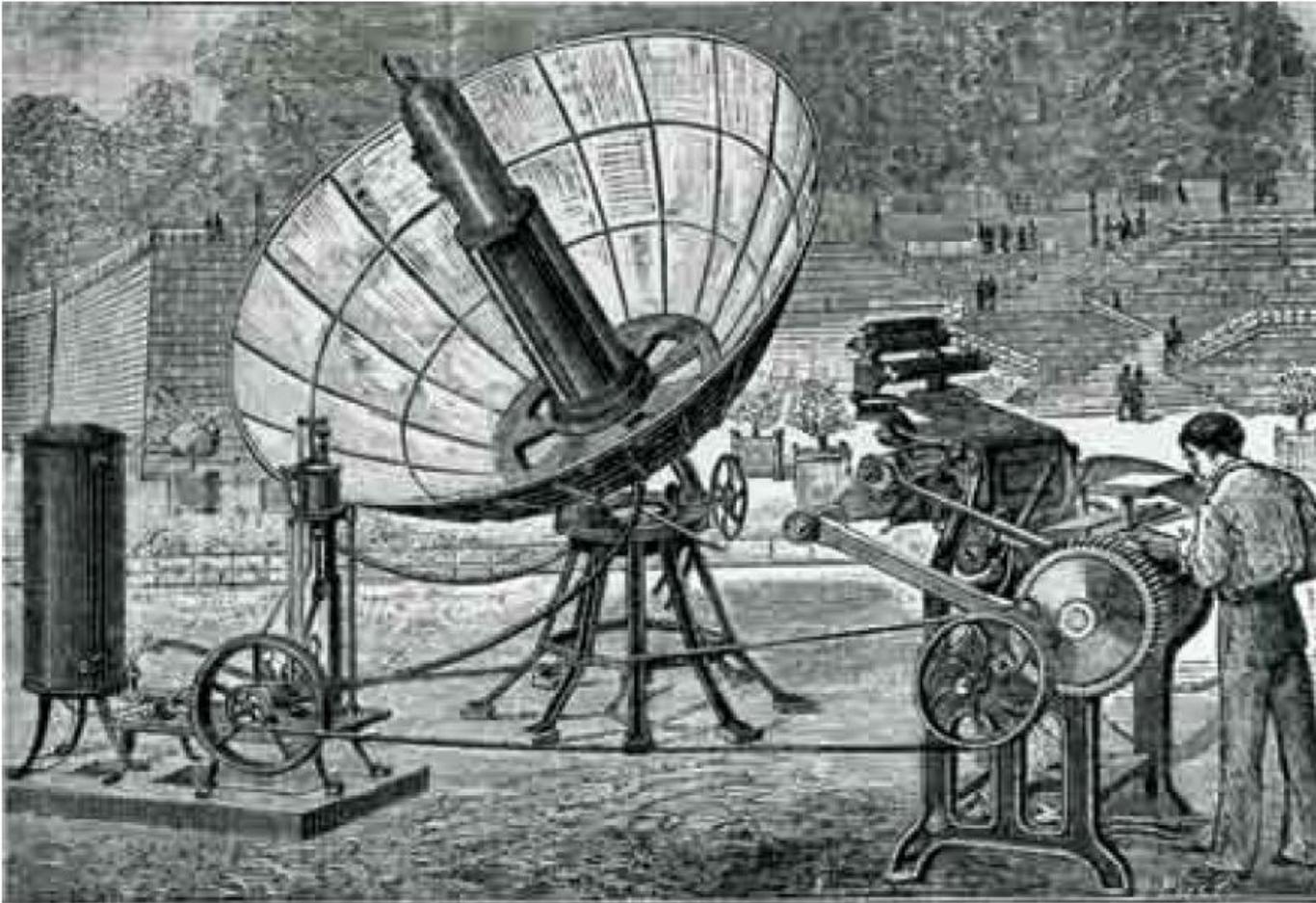
- Heinrich Hertz découvre que les rayons UV altèrent la tension la plus basse capable de provoquer une étincelle entre deux électrodes métalliques.

1880

1887



Le 19^e siècle



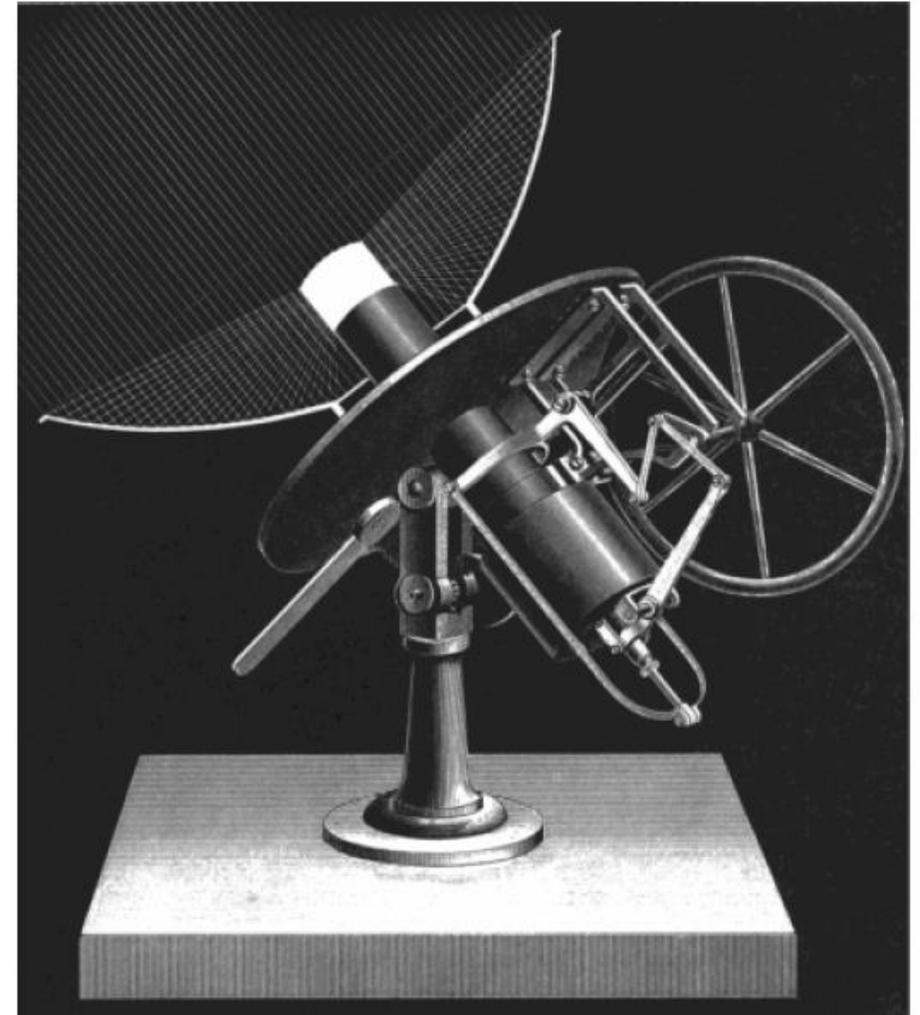
- La presse solaire de 300 W de Abel Pifre (1852-1928), élève de Mouchot.
- Un collecteur parabolique de 3,5 m de diamètre produit la vapeur requise pour actionner un moteur à vapeur vertical.

1882

Le 19^e siècle

- L'inventeur américain d'origine suédoise John Ericsson (1803-1889) se consacre à démontrer que l'on peut directement convertir l'énergie solaire en puissance, **sans passer par la vapeur.**
- Il employait une variation du moteur Stirling.

1873



Le 19^e siècle

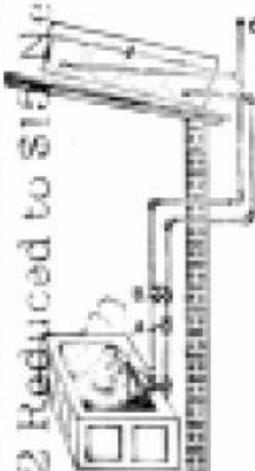
Climax Solar-Water Heater

UTILIZING ONE OF NATURE'S GENEROUS FORCES

THE SUN'S HEAT

(Stored up in Hot Water for Baths, Domestic and other Purposes.)

Price Of No. 1 Heater for 1892 Reduced to \$15.00 Net



GIVES HOT WATER at all HOURS OF THE DAY AND NIGHT.

NO DELAY.

FLows INSTANTLY.

NO CARE. NO WORRY.

ALWAYS CHARGED.

ALWAYS READY.

THE WATER AT TIMES ALMOST BOILS.

Price, No. 1, \$25.00

This Size will Supply sufficient for 3 to 4 Baths.

CLARENCE M. KEMP, BALTIMORE, MD.



- Le premier chauffe-eau solaire commercial est le Climax, mis en marché en 1891 par son inventeur, Clarence Kemp.
- L'appareil est devenu très populaire sur la côte ouest des États-Unis
- Des améliorations y ont été apportées au début du 20^{ème} siècle, comme l'ajout de tuyaux exposés au soleil et de réservoirs isolés dans lesquels l'eau chaude était entreposée

1891

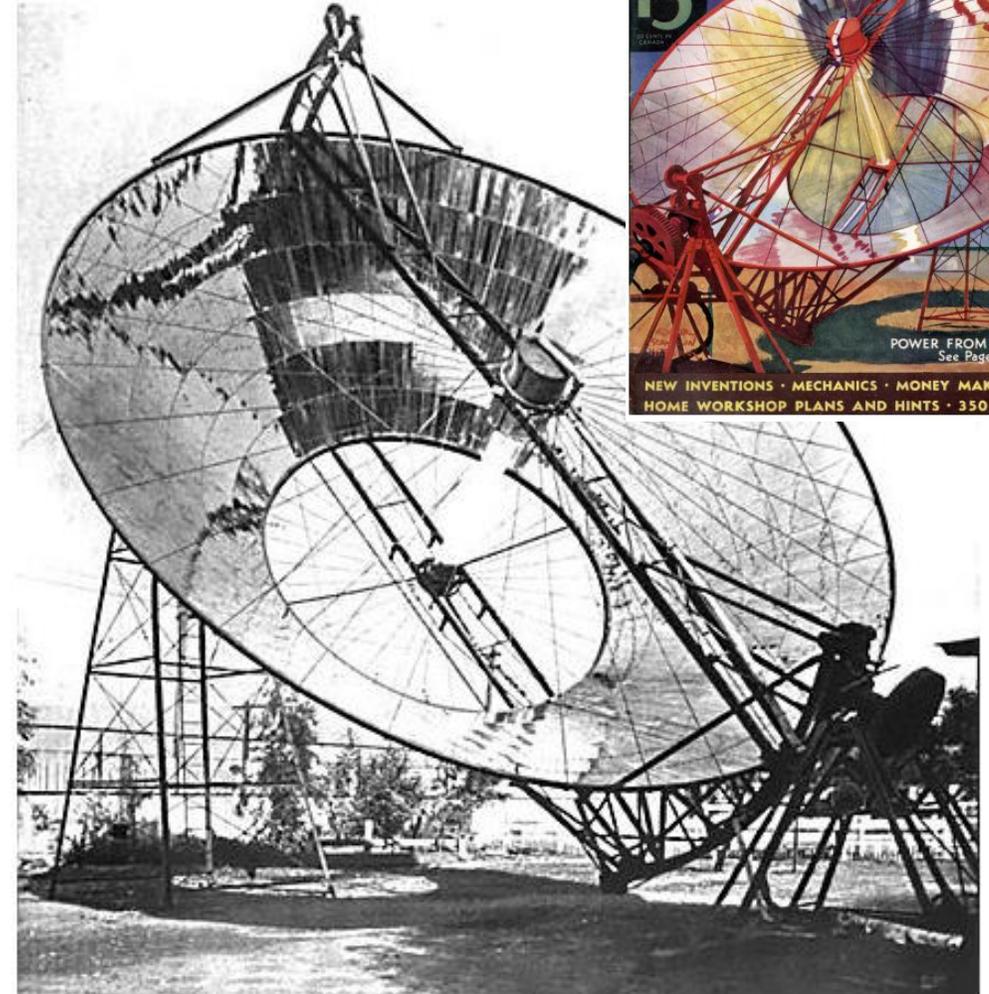
Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- L'Antiquité et le Moyen Âge
- La Renaissance
- Le 19^è siècle
- ***Le 20^è siècle***
- Le 21^è siècle
- Conclusion

Le 20^è siècle

- En 1901, A.G. Eneas installe un collecteur de **10 m de diamètre**, alimentant une pompe à eau à Pasadena en Californie.
- L'appareil était constitué d'une grande structure en forme de parapluie comportant **1788 miroirs**.
- L'eau à l'intérieur de la chaudière placée dans le collecteur était chauffée et **la vapeur produite** agissait comme un moteur conventionnel et comme une pompe centrifuge.

1901



Le 20^è siècle

1900 – 1949 : Explication théorique de l'effet photoélectrique et premières cellules

- Albert Einstein publie son article sur l'effet photoélectrique.

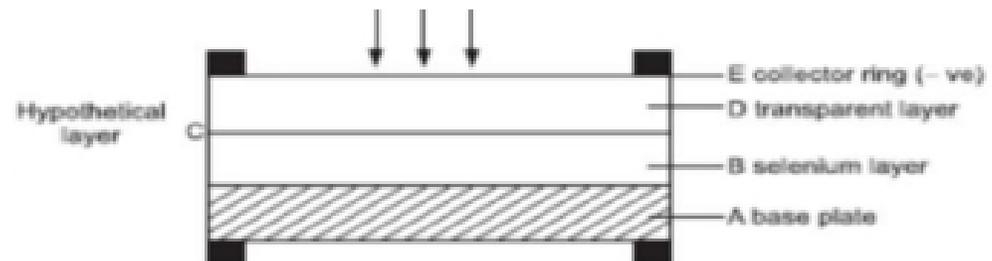
1905

- L'existence d'une couche barrière dans l'effet photoélectrique est notée.

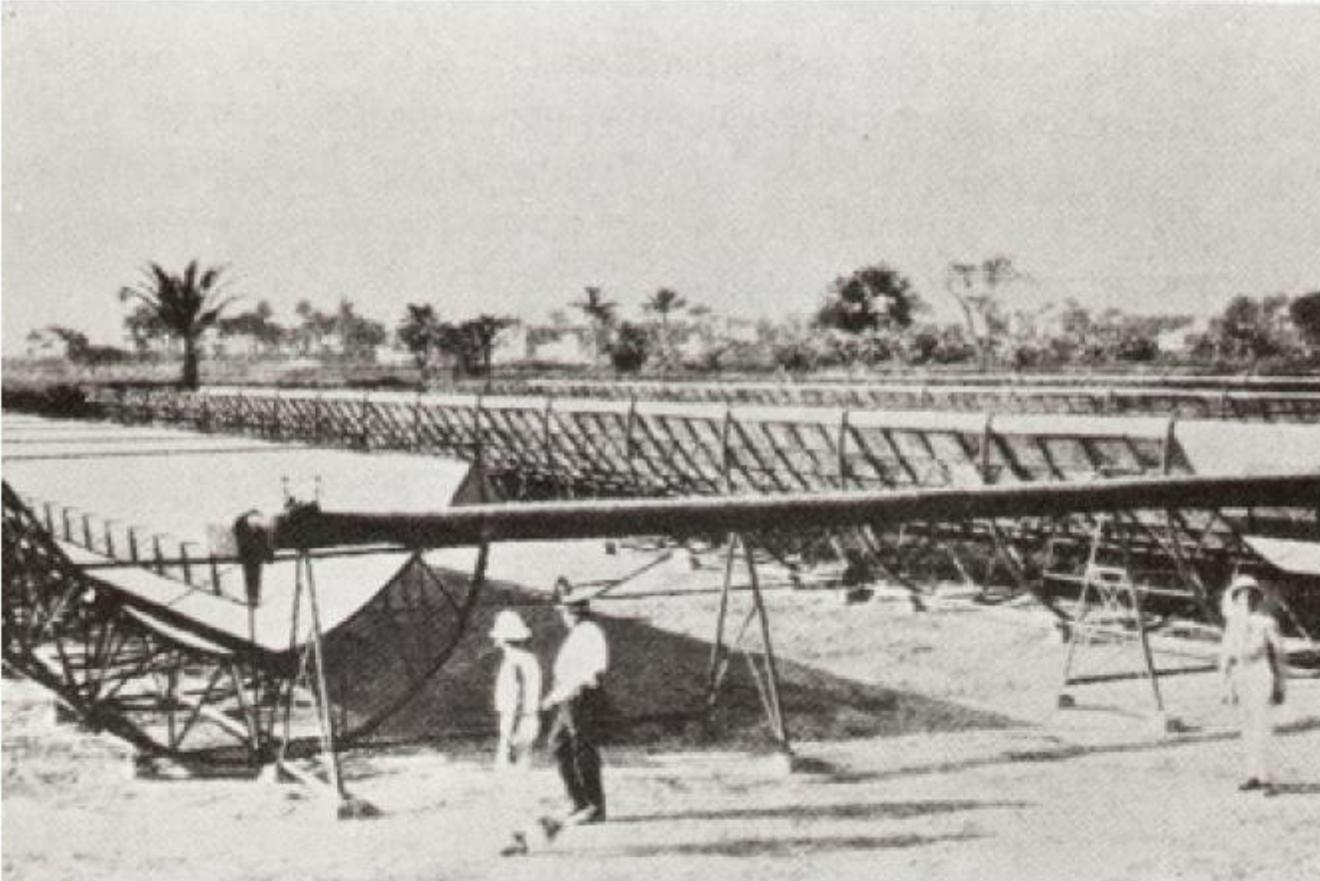
1914

- Robert Milikan produit une preuve expérimentale de l'effet photoélectrique

1916



Le 20^è siècle

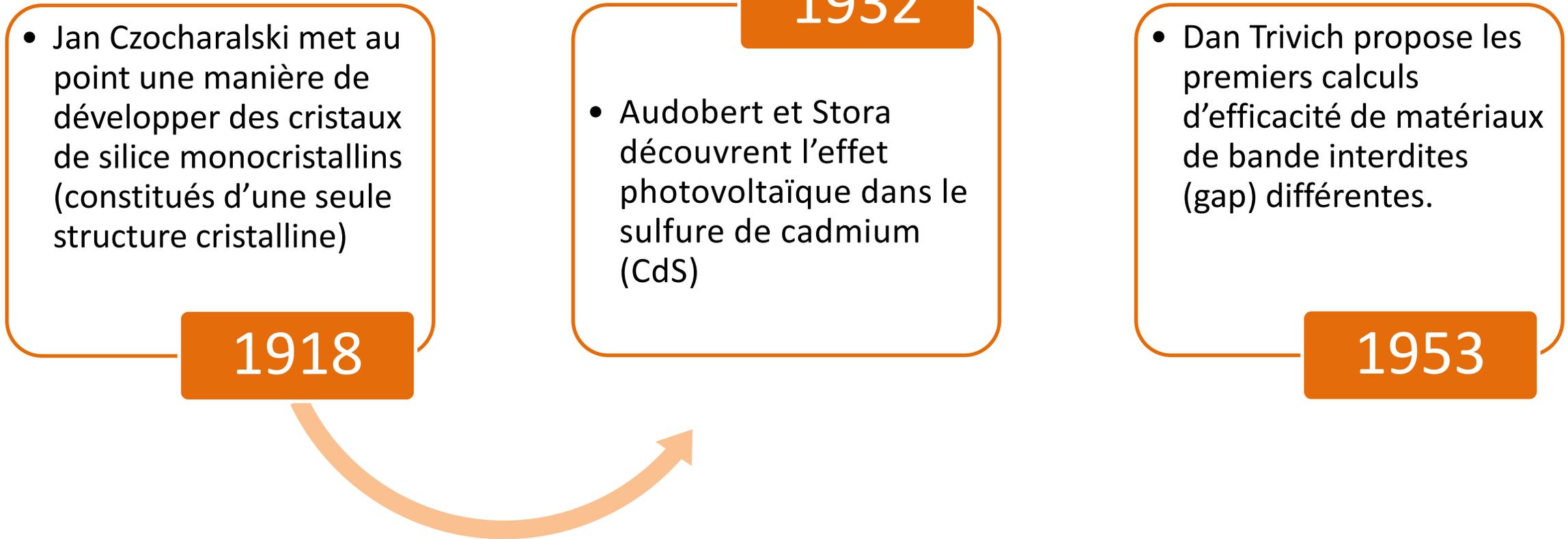


- En 1912, Frank Shuman (1862-1918), met en place la première centrale thermique pour une station de pompage à Meadi, en Égypte.
- Le système utilisait une série de surfaces paraboliques de 62m de long pour concentrer les rayons du soleil sur un tube absorbant. Les surfaces couvraient une superficie totale de plus de 1200 mètres carrés.
- La centrale pouvait fournir une puissance continue allant jusqu'à 45 kW pendant 5 heures par jour.

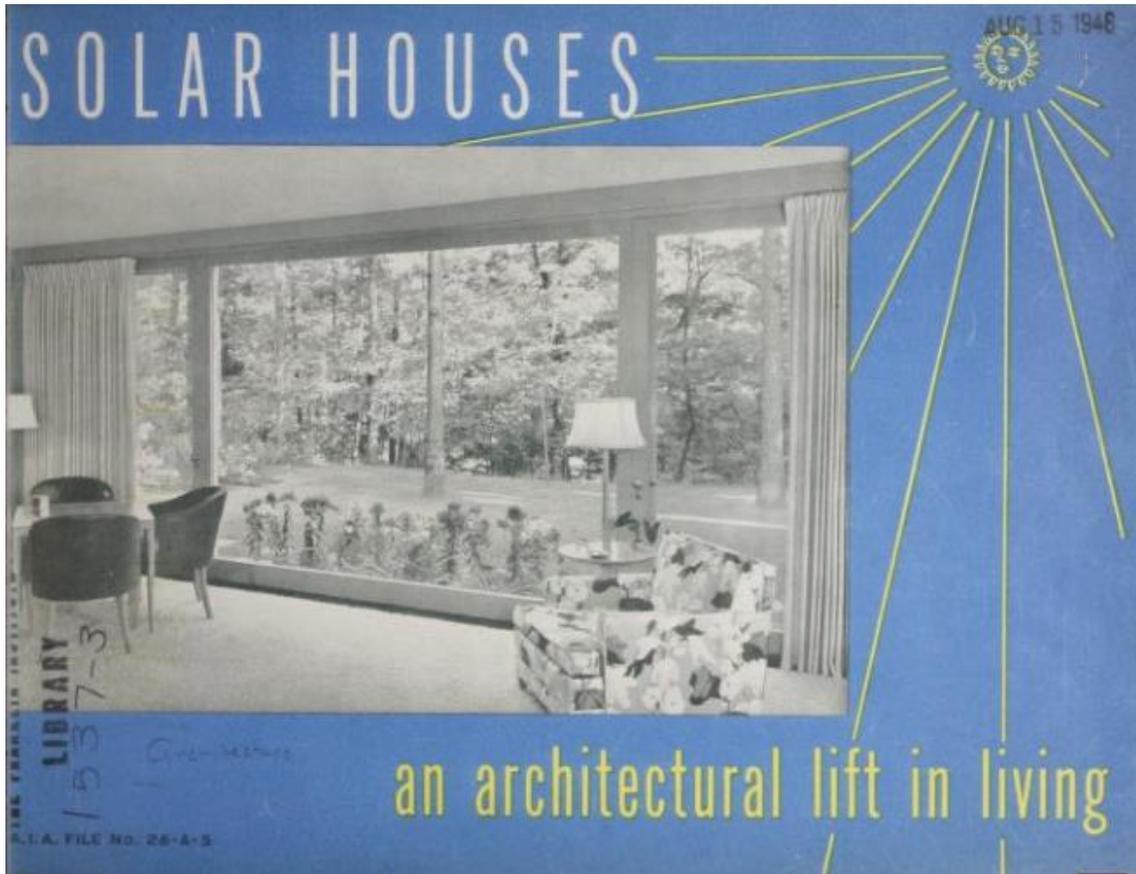
1912

Cette station de pompage solaire permettait de pomper plus de 20,000 L d'eau par minute du Nil et de les utiliser dans les champs adjacents.

Le 20^e siècle



Le 20^è siècle



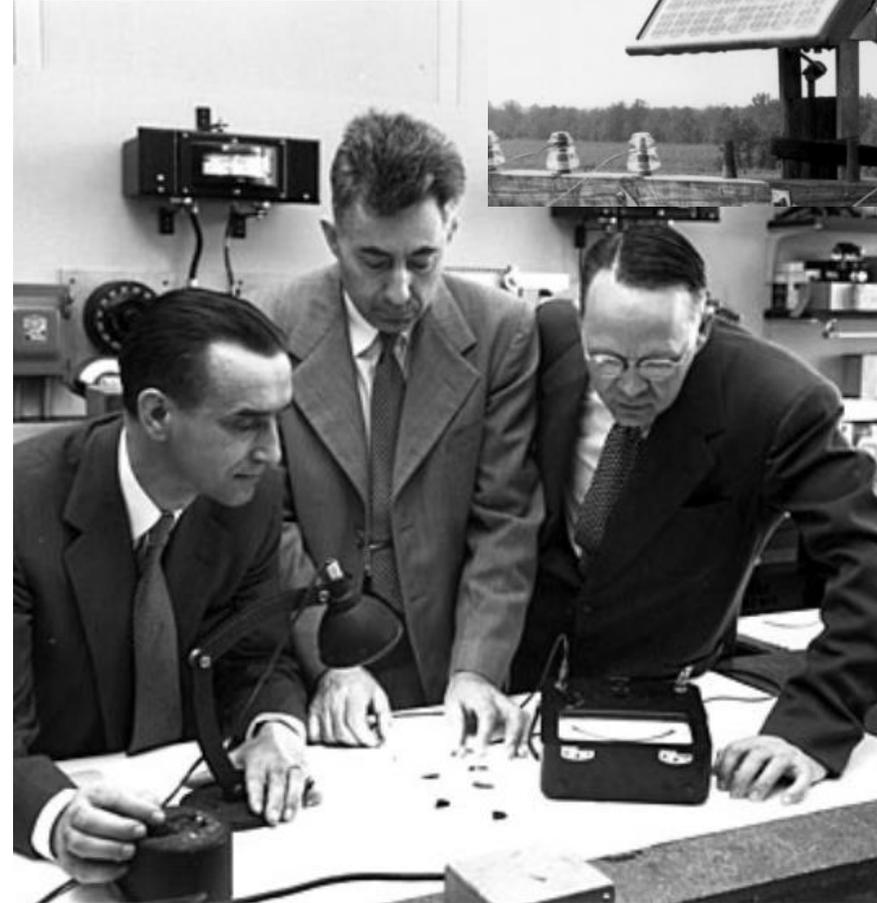
- Les bâtiments solaires passifs aux États-Unis sont très en demande, résultat de la rareté de l'énergie due à la Seconde Guerre Mondiale.
- Libbey-Owens-Ford Glass Company a publié un livre intitulé *Solar Houses: an architectural lift in living*, qui présente quarante-neuf des plus grands architectes solaires du pays à cette époque.

1947

Le 20^è siècle

- La technologie photovoltaïque naît aux États-Unis lorsque Daryl Chapin, Calvin Fuller et Gerald Pearson développent la cellule photovoltaïque (PV) au silicium au Bell Labs.
- Première cellule solaire capable de convertir suffisamment d'énergie solaire en électricité pour faire fonctionner des équipements électriques.
- Bell Labs produit une cellule solaire au silicium présentant une efficacité de 4%, et atteint plus tard 11%

1954



Le 20^e siècle

1950 – 1969 : Le PV dans l'exploration spatiale



- Le satellite Vanguard I utilise un petit jeu de cellules (moins d'un watt) pour alimenter ses radios.
- Moins d'une année plus tard, Explorer III, Vanguard II et Spoutnik-3 sont lancés avec des systèmes alimentés par PV à bord.

1958

Le 20^è siècle

- Sharp Corporation parvient à produire des modules PV à une échelle commerciale.
- Le Japon installe un panneau de 242 W sur un phare, un record.
- Un an plus tard, la NASA lance Nimbus, cette fois muni d'un panneau de 470 W.
- En 1966, l'Orbiting Astronomical Observatory de la NASA comporte un panneau de 1000 W.

1963+



Le 20^è siècle



- Le four solaire Odeillo, France, comporte un miroir parabolique de 8 étages.
- 54 mètres de haut et 48 de large comprenant 63 héliostats.
- Puissance thermique de 1 MW.
- Ce laboratoire doit sa renommée mondiale à ses avancées scientifiques uniques dans le domaine du comportement des matériaux soumis à des températures élevées.

1969

Le 20^è siècle

1970 – 1979 : Industrialisation du photovoltaïque



- Elliot Berman, avec l'aide d'Exxon Corporation, conçoit une cellule solaire faisant passer le prix de 100 dollars à 20 dollars.
- Les cellules solaires commencent à actionner des avertisseurs de navigation sur de nombreux sites - plates-formes de gaz et de pétrole, phares, passages à niveau.

1970+

Le 20^e siècle

- Un système PV (CdS) est mis en place pour faire fonctionner la télévision éducative dans une école au Niger.
- *Institute of Energy Conversion* (U of D) est créé, devenant ainsi le premier laboratoire au monde dédié à la R&D en PV.

1972

1973

- Université du Delaware (U of D) construit «Solar One», l'une des premières résidences photovoltaïques au monde.
- Le système était un hybride PV / thermique.



1976

- Le centre de recherche Lewis de la NASA commence à installer 83 systèmes d'alimentation photovoltaïque sur tous les continents sauf l'Australie. Le projet sera complété en 1995.

Le 20^e siècle

1980 – 1989 Photovoltaïque à grande échelle

- ARCO Solar est la première entreprise à produire plus de 1 MW de cellules PV en un an.
- À l'Université du Delaware, la première cellule solaire à couche mince dépasse 10% d'efficacité avec le sulfure de cuivre / sulfure de cadmium.

1980



1981

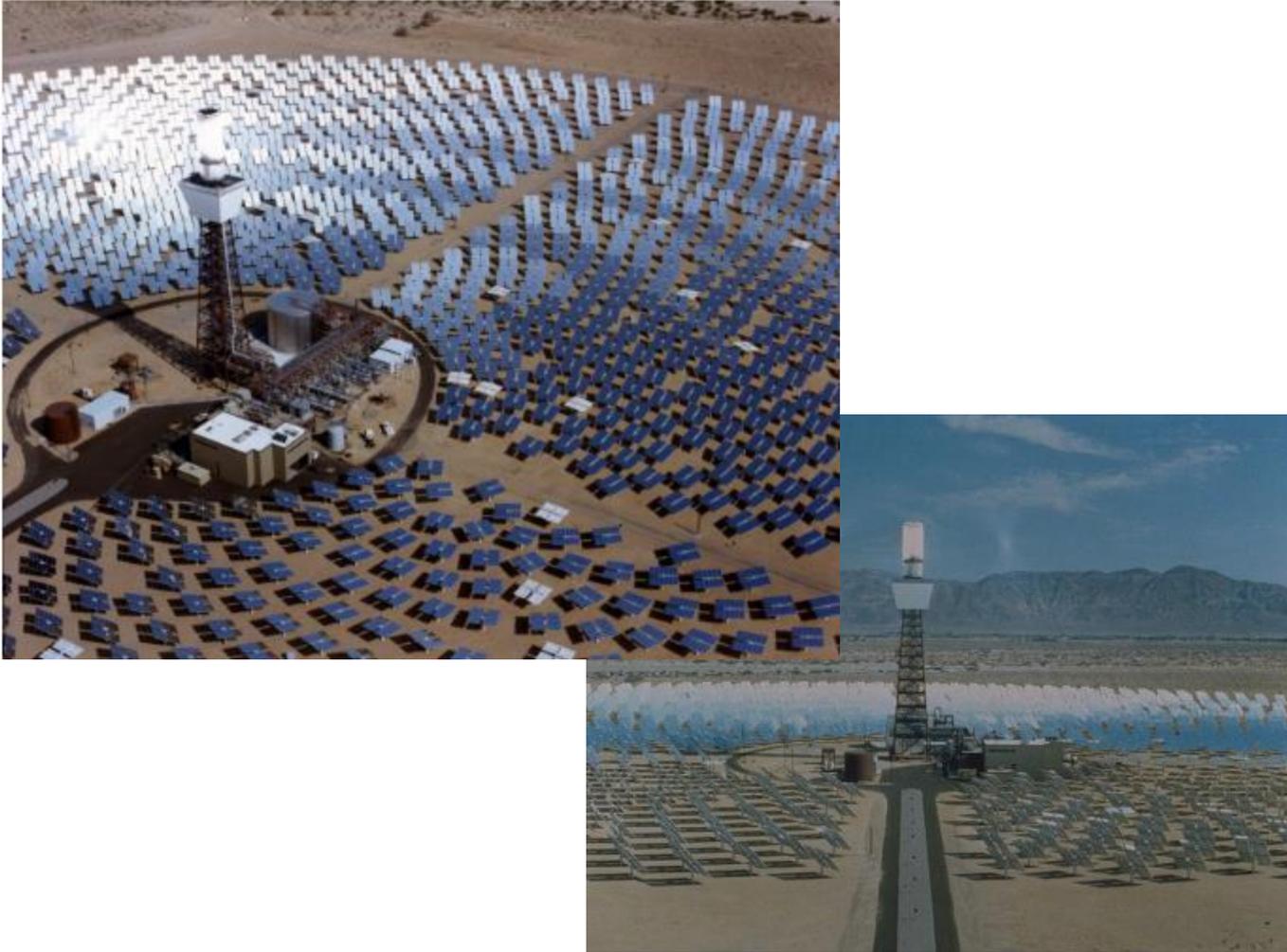
- Paul MacCready construit le premier avion à énergie solaire, le Solar Challenger, et le pilote de la France à l'Angleterre.
- 16,000 cellules, 3,000 W.

- L'Australien Hans Tholstrup conduit la première voiture à énergie solaire — la Quiet Achiever.
- Près de 4 500 km entre Sydney et Perth en 20 jours, soit 10 jours de moins que la première voiture à essence à effectuer ce trajet.

1982



Le 20^è siècle



- Aux États-Unis, le DOE commence à exploiter Solar One, projet de démonstration d'un récepteur central de 10 mégawatts.
- Le projet a établi la faisabilité de systèmes de tours solaires produisant de la puissance électrique, avec concentration (CSP);
- En 1988, la dernière année d'opération, le système pouvait être exploité 96% du temps.

1982

Le 20^è siècle

- La plus grande centrale solaire thermique au monde à cette époque, située à **Kramer Junction**, Californie, a été commandée en 1986.
- Le champ solaire contient des rangées de miroirs qui concentrent l'énergie du soleil sur un système de conduites faisant circuler un fluide caloporteur.
- Le fluide caloporteur est utilisé pour produire de la vapeur qui alimente une turbine conventionnelle pour générer de l'électricité.
- <https://www.youtube.com/watch?v=w7KHevsYxlQ>

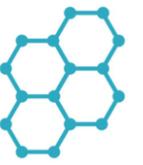
1986



Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- L'Antiquité et le Moyen Âge
- La Renaissance
- Le 19^è siècle
- Le 20^è siècle
- ***Le 21^è siècle***
- Conclusion

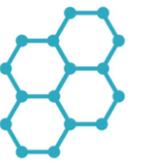
Question



ENR2020

- La production de puissance électrique à partir de l'énergie solaire s'est développée à peu près en même temps que celle à partir d'énergie fossile. À partir de quelle époque (choisir la période la plus appropriée) ?
 - A. Vers 1800-1849
 - B. Vers 1850-1899
 - C. Vers 1900-1949
 - D. Vers 1950-1999
 - E. Après 2000

Question



ENR2020

- La production de puissance électrique à partir de l'énergie solaire s'est développée à peu près en même temps que celle à partir d'énergie fossile. À partir de quelle époque (choisir la période la plus appropriée) ?
 - Vers 1800-1849
 - Il est assez ardu de proposer une seule réponse à cette question. Antérieurement, cette présentation introduit Stirling qui en 1816 a réussi à produire de l'électricité à partir du soleil. Mais cela demeure à une échelle assez réduite. Pour les besoins du cours, cette année est considérée comme jalon historique de production électrique solaire.

Le 21^è siècle

2000 – 2009 : Centrales électriques PV à haute capacité (100 MW+)



- First Solar à Perrysburg, dans l'Ohio, a une capacité estimée de production pour générer 100 mégawatts/an .
- Sur la Station Spatiale Internationale, les astronautes commencent à installer des panneaux solaires comportant 32 800 cellules PV.
- Sandia National Laboratories développe un nouvel onduleur pour les systèmes électriques solaires. Il convertit le DC en AC.

2000

Le 21^e siècle



- La première centrale solaire à concentration commerciale au monde, **Planta Solar 10**, a été créée en 2004 près de Séville, en Espagne. Elle opère depuis 2007.
- La lumière du soleil est réfléchiée par 624 grands miroirs mobiles (héliostats) au sommet d'une tour de 115 m de hauteur, où un récepteur solaire, une turbine à vapeur et un générateur peuvent produire 11 MW d'énergie électrique ($\approx 5\,500$ habitations).

2007

Le 21^e siècle

- Une des plus grandes centrales de ce type au monde a été inaugurée le 13 février 2014 à Ivanpah Dry Lake (Californie).
- La puissance nominale du système de production d'électricité électrique Ivanpah Solar est de 377 MW (\approx 140 000 foyers).
- Plus de 300 000 miroirs contrôlés par logiciel suivent le soleil selon deux axes et reflètent la lumière du soleil sur les chaudières placées au sommet de trois tours de 140 m.

2014



Le 21^è siècle

- En fait, il serait difficile de faire un inventaire complet des récentes additions en PV.
- Ci-contre, un tableau récapitulatif par puissance installée décroissante
- Chine, Inde, États-Unis, EAU et Mexique se partagent le palmarès.

2020

Name	Country	Location	Capacity MW _p or MW _{AC} (*)	Annual Output GWh	Land Size km ²	Year
Tengger Desert Solar Park	China	37°33'00"N 105°03'14"E	1,547		43	2016
Bhadla Solar Park	India	27°32'22.81"N 71°54'54.91"E	1,515		40	2019
Pavagada Solar Park	India	14°05'49"N 77°16'13"E	1,400		53	2019
Noor Abu Dhabi	United Arab Emirates	24°24'11"N 55°16'07"E	1,177		8?	2019
Datong Solar Power Top Runner Base	China	40°04'25"N 113°08'12"E, 40°00'19"N 112°57'20"E	1,000			2016
Kurnool Ultra Mega Solar Park	India	15.681522°N 78.283749°E	1,000		24	2017
Longyangxia Dam Solar Park	China	36°10'54"N 100°34'41"E	850		23	2015
Villanueva Solar Park	Mexico	25°35'5"N 103°2'42"W	828		24	2018
Rewa Ultra Mega Solar	India	24°28'49"N 81°34'28"E	750			2018
Charanka Solar Park	India	23°54'N 71°12'E	690		20	2012
Kamuthi Solar Power Project	India	9°21'16"N 78°23'4"E	648		10.1	2016
Mohammed bin Rashid Al Maktoum Solar Park	United Arab Emirates	24°45'17"N 55°21'54"E	613			2019
Solar Star (I and II)	United States	34°49'50"N 118°23'53"W	579*	1,664	13	2015
Copper Mountain Solar Facility	United States	35°47'N 114°59'W	552*	1,291	16.2	2016
Topaz Solar Farm	United States	35°23'N 120°4'W	550*	1,268	19 ^[49]	2014
Desert Sunlight Solar Farm	United States	33°49'33"N 115°24'08"W	550*	1,287	16	2015
Huanghe Hydropower Golmud Solar Park	China	36°24'00"N 95°07'30"E	500		23	2014
NP Kunta	India	14°01'N 78°26'E	500			2018

Le 21^è siècle

Electrical capacity (MW)	Name	Country	Location	Coordinates	Technology type	Storage hours
510	Noor / Ouarzazate Solar Power Station	Morocco	Ghassate (Ouarzazate province)	30°59'40"N 6°51'48"W	Parabolic trough and solar power tower (Phase 3)	3 / 7 / 7.5
392	Ivanpah Solar Power Facility	US	San Bernardino County, California	35°34'N 115°28'W	Solar power tower	
310	Solar Energy Generating Systems (SEGS)	US	Mojave Desert, California	35°01'54"N 117°20'53"W	Parabolic trough	
280	Mojave Solar Project	US	Barstow, California	35°00'40"N 117°19'30"W	Parabolic trough	
280	Solana Generating Station	US	Gila Bend, Arizona	32°55'N 112°58'W	Parabolic trough	6
280	Genesis Solar Energy Project	US	Blythe, California	33°38'37.68"N 114°59'16.8"W	Parabolic trough	
200	Solaben Solar Power Station ^[27]	Spain	Logrosán	39°13'29"N 5°23'26"W	Parabolic trough	
150	Solnova Solar Power Station	Spain	Sanlúcar la Mayor	37°25'00"N 06°17'20"W	Parabolic trough	
150	Andasol solar power station	Spain	Guadix	37°13'42.70"N 3°46.73"W	Parabolic trough	7.5
150	Extresol Solar Power Station	Spain	Torre de Miguel Sesmero	38°39'N 6°44'W	Parabolic trough	7.5
125	Crescent Dunes Solar Energy Project	US	Nye County, Nevada	38°14'N 117°22'W	Solar power tower	10
125	Dhursar	India	Dhursar, Jaisalmer district	26°47'N 72°00'E	fresnel reflector	
121	Ashalim Power Station (Negev Energy)	Israel	Ashalim	30°57'N 34°42'E	Parabolic trough	4.5
121	Megalim Power Station (Negev Energy)	Israel	Ashalim	30°56'N 34°43'E	Solar power tower	
100	Kathu Solar Park	South Africa	Northern Cape	27°31'59.67"S 23°8'10.56"E	Parabolic trough	4.5
100	KaXu Solar One	South Africa	Pofadder, Northern Cape	28°53'40.56"S 19°35'53.52"E	Parabolic trough	2.5
100	Xina Solar One	South Africa	Pofadder, Northern Cape	28°53'40.56"S 19°35'53.52"E	Parabolic trough	5.5
100	Manchasol Power Station	Spain	Alcázar de San Juan	39°11'N 3°18'W	Parabolic trough	7.5
100	Valle Solar Power Station	Spain	San José del Valle	36°39'N 5°50'W	Parabolic trough	7.5
100	Helioenergy Solar Power Station	Spain	Écija	37°34'43"N 5°9'24"W	Parabolic trough	
100	Aste Solar Power Station	Spain	Alcázar de San Juan	39°10'22"N 3°15'58"W	Parabolic trough	8
100	Solacor Solar Power Station	Spain	El Carpio	37°54'54"N 4°30'9"W	Parabolic trough	

- La plus grande puissance CSP est trois fois moindre qu'en PV mais elle produit plus régulièrement.
- Les États-Unis et l'Espagne dominant.
- L'Afrique du Sud et Israël sont des acteurs importants.
- Le Maroc avait en 2020 la plus large centrale de production (Noor)

2020

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- L'Antiquité et le Moyen Âge
- La Renaissance
- Le 19^e siècle
- Le 20^e siècle
- Le 21^e siècle
- ***Conclusion***

Conclusion

- Ce n'est pas d'hier que date l'usage de l'énergie solaire;
- Plusieurs applications naturelles (passives) ont longtemps été **oubliées** ou **négligées** en raison de l'abondance d'énergie fossile bon marché;
- Les grands principes du stockage, du chauffage, du séchage étaient connus **avant** la révolution industrielle;
- Même la production de puissance, à partir de l'énergie solaire, s'est développée **à peu près en même temps** que celle à partir d'énergie fossile.

Bibliographie

- Il existe une pléthore d'articles sur le sujet.
- Parmi ceux-ci :
 - Lorand Szabo (2017), The history of using solar energy, The 7th International Conference on Modern Power Systems (MPS 2017), Paper 125
 - US-DOE, The history of solar, Timeline
 - <http://www.pvresources.com/en/introduction/history.php>

ont été utilisés pour préparer cette présentation

Médiagraphie

- <https://www.smithsonianmag.com/sponsored/brief-history-solar-panels-180972006/>
- <https://msd.com.ua/solar-thermal-collectors-and-applications/history-of-solar-energy/>
- <http://gjkellersolar.com/the-history-of-solar-energy/>
- <https://www.instituteforenergyresearch.org/renewable/solar/history-of-solar-power/>
- <https://energyinformative.org/the-history-of-solar-energy-timeline/>

Livres

- Duffie, John A, et William A Beckman. 2006. *Solar engineering of thermal processes*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 3rd Ed., 908 p.
- Kalogirou, S.A. 2009. *Solar Energy Engineering*, Academic Press, 2nd Ed., 840 p.
- Reinders, A., Verlinden, P., van Sark, W., Freundlich, A. 2016. *Photovoltaic Solar Energy: From Fundamentals to Applications*, Wiley, 720 p.

