Pédagogie de l’action climatique
pour une transition éclairée

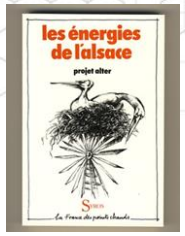
Thierry de Larochelambert
Professeur associé à l’Institut Femto-ST
CNRS-UMR6174, Département Énergie
Chaire Supérieure de Physique-Chimie
Docteur en Énergétique
courriel : thierry.de-larochelambert@femto-st.fr

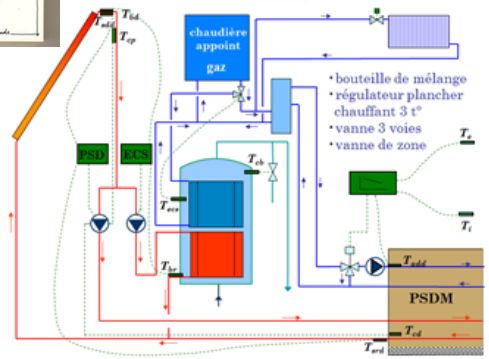
MPM Mulhouse 05-02-2020

1. introduction
2. compréhension des enjeux
3. local / global
4. la pédagogie au cœur du choix conscient
5. la transition éclairée
6. l’avenir vous appartient

1. introduction

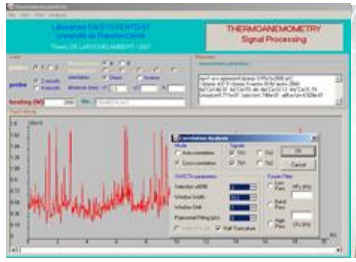
1.1. présentation



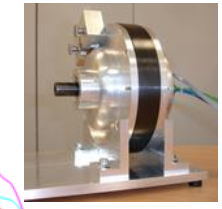


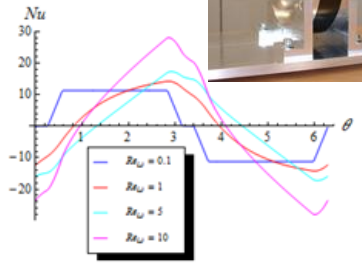
- ❑ Professeur Agrégé de Physique & Chimie, Chaire Supérieure de Physique & Chimie
- ❑ Docteur en Energétique (Université de Haute-Alsace)
- ❑ Professeur Associé et Chercheur à l'**Institut FEMTO-ST, Département Energie**, Belfort (2007-2019)
- ❑ Responsable du Pôle Magnétocalorique du Dpt Energie, Institut FEMTO-ST (2015-2019)
- ❑ Professeur Associé et Chercheur au **Laboratoire Gestion des Risques et Environnement** - UHA (1997-2007)
- ❑ Membre de l'association **Global Chance** (2016-)
- ❑ Co-fondateur du **Projet Alter Alsace** (aujourd'hui **Alter Alsace Energies**) (1980)

Principaux travaux de recherche



- ❑ Projet de chauffage urbain géothermique de Lutterbach (1980-1986)
- ❑ Recherche sur les ***scénarios régionaux 100% EnR*** (livre "Les énergies de l'Alsace – Projet Alter" – 1983)
- ❑ Conception, optimisation, réalisation, mesures, modélisation du PSDM (***Plancher Solaire Direct Mixte***) – 1990-2005
- ❑ ***Transition turbulente des couches limites en convection naturelle le long de parois verticales fortement chauffées***
- ❑ Publication de la méthode thermoanémométrique **SWICTA** (*Sliding Window Cross-correlation Thermo-Anemometry*)
- ❑ Cours « ***Mécanique des fluides expérimentale et théorique*** » ENSISA-UHA
- ❑ Recherches sur ***l'effet magnétocalorique et le développement de systèmes AMRR***
- ❑ ***Métrologie photo-thermique*** des propriétés thermo-physiques des matériaux magnétocaloriques
- ❑ *Modélisation des phénomènes critiques, des exposants criques et de l'équation d'état magnétique du gadolinium*
- ❑ Cours «***Énergétique solaire dans les bâtiments bioclimatiques*** », UFC, CNAM Alsace
- ❑ ***Etude mathématique des transferts de chaleur et de quantité de mouvement dans les écoulements alternés***
- ❑ ***Analyse des politiques énergétiques et des transitions énergétiques vers les systèmes 100% EnR***
- ❑ ***Analyses sûreté nucléaire (déchets, matériaux, GV, cuves, réacteurs, Gen III, Gen IV, fusion)***





1. introduction

1.2. contexte

- changement climatique accéléré (GIEC → dernières simulations 2050-2100)
- menaces croissantes sur la biodiversité
- échec marché carbone, succès taxe carbone (Suède, Danemark)
- croissance des consommations fossiles mondiales et émissions GES
- accidents nucléaires (St Laurent-des-eaux 1969, 1980; TMI 1979; Tchernobyl 1986; Fukushima 2011; …?)

► sorties du nucléaire programmées (Allemagne, Belgique, Corée du Sud, Italie, Suisse, etc.), sorties charbon (France, Allemagne)

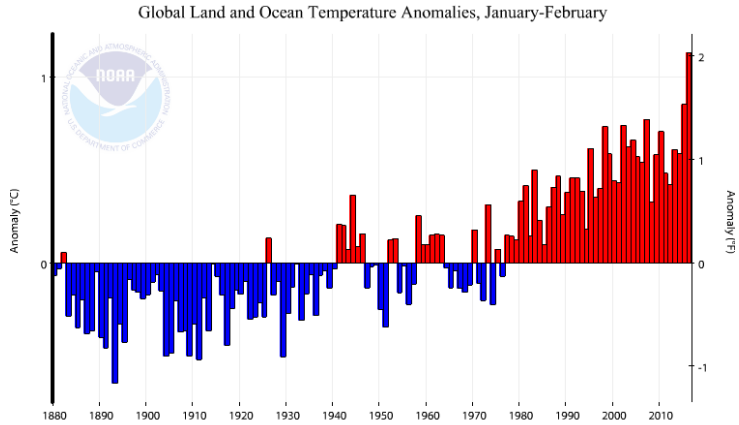
- incertitudes nucléaires (coûts, grand carénage, EPR, vieillissement, dossiers barrés Areva, ségrégations carbone GV et EPR, non-conformités traitement thermique détensionnement GV + pressuriseur, déchets HA-MAVL, démantèlements, déchets TFA-FAVL, risques terroristes, risques d'accidents majeurs, prolongement des REP après 40 ans)
- prolifération nucléaire militaire
- dépendance énergétique européenne (*pétrole*, *gaz*, *uranium*)
- EnR → forte baisse des prix + développement mondial accéléré

► objectifs européens 2030 et 2050 renforcés (ENR, sobriété)

► fermeture Fessenheim 1 (22 février 2020), Fessenheim 2 (30 juin 2020)

► PPE 2023-28 → 50% électricité nucléaire 2035 → fermeture 14 réacteurs

► Convention citoyenne pour le climat (2019)



Convention Citoyenne pour le Climat

2. compréhension des enjeux

2.1. conscience des choix

« *choice awareness* »

(Henrik Lund, *Université d'Aalborg, Danemark*)

- être conscients que nos sociétés ne donnent pas automatiquement un vrai choix
- être conscients des alternatives possibles et réalistes
- être conscients d'avoir un vrai choix collectivement
- être conscients de la manière de poursuivre et de garantir un véritable choix
- être conscients des impacts écologiques, économiques et sociétaux des décisions

- ► information objective, rigoureuse, complète
- ► transparence des données et des actions

1. élaboration d'alternatives technologiques concrètes
2. études de faisabilité économique
3. propositions de mesures de régulation publique
4. promotion de nouvelles entreprises et d'une infrastructure démocratique

2. compréhension des enjeux

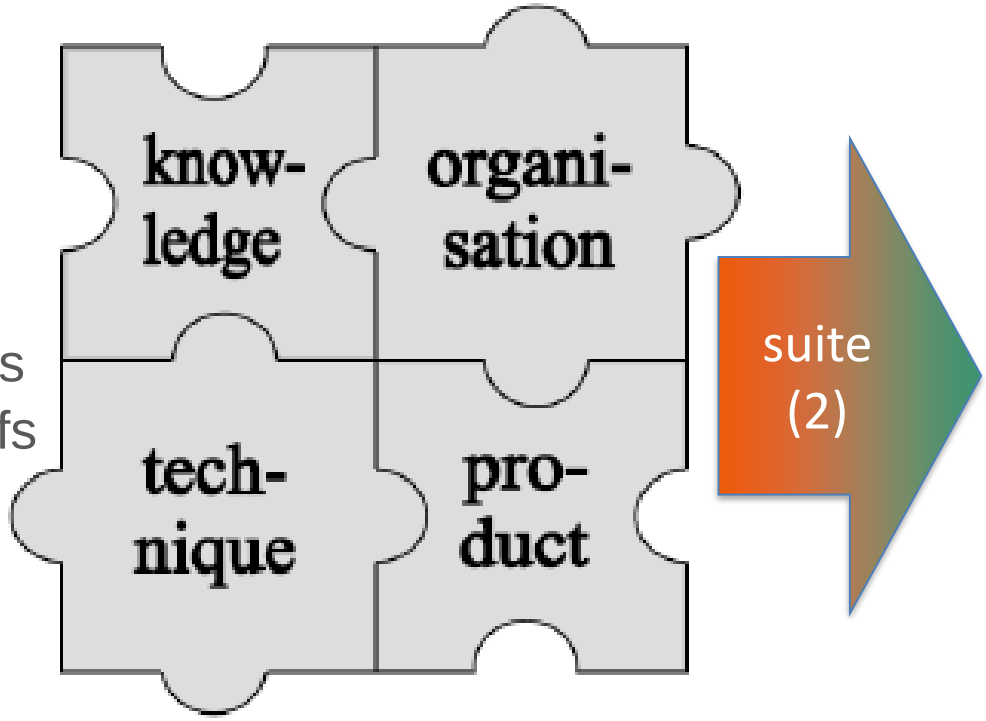
2.2. connaître pour comprendre

maîtriser les connaissances scientifiques minimales

► comprendre la complexité (1)

- réchauffement climatique
- analyses des cycles de vie
- structures des systèmes énergétiques
- comportements individuels et collectifs

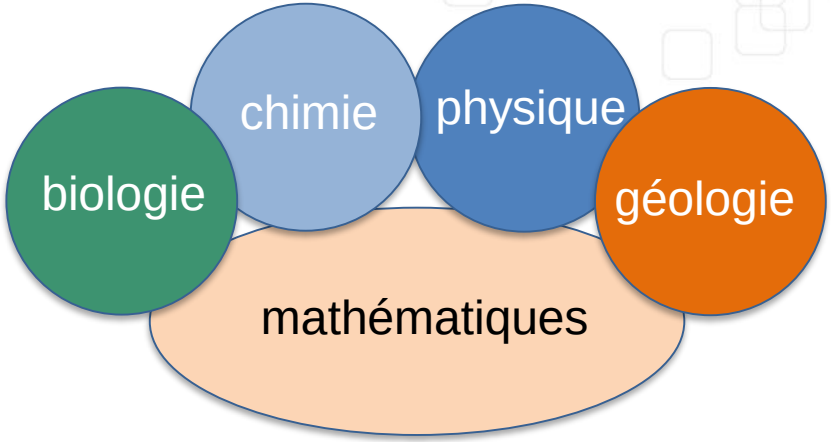
► choisir en toute responsabilité



2. compréhension des enjeux

► comprendre la complexité (2)

- réchauffement climatique
  - effets anthropiques / cycles naturels
  - forçage radiatif des gaz à effet de serre
  - interactions atmosphère-océans-glaces-biologie
  - rétroactions climatiques
  - paléoclimats et simulations climats futurs



(1) suite

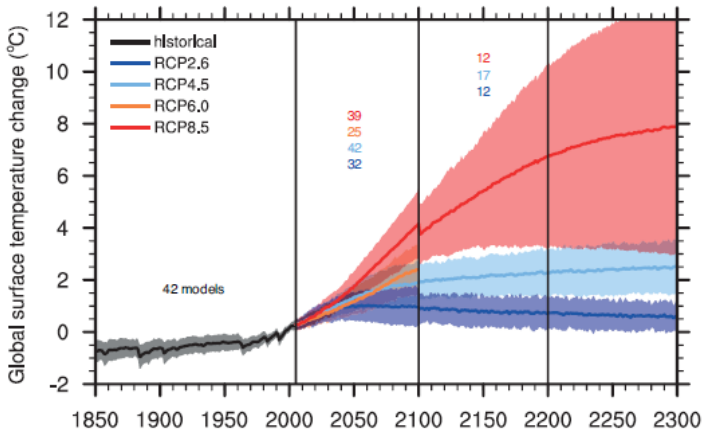
- analyses des cycles de vie
  - *ressources* naturelles : eau, air, terres, sous-sols, océans, matériaux, énergies de flux et de stock, biomasse
  - ► soutenabilité, équilibre, mesure, sobriété, économie circulaire, santé / épuisement, appauvrissement, productivisme, déchets, pollution, démesure, hubris, maladies
- structures des systèmes énergétiques
  - sources d'énergie et modes de production, distribution, consommation, stockage d'énergie: énergies renouvelables/fossiles-fissiles, sobriété/surconsommation, efficacité/gaspillage, couplage-optimisation des SES/découplage-juxtaposition
  - ► impact déterminant : régulation, cohérence, planification/dérégulation, déconnexion, imprévision
- comportements individuels et collectifs
  - cohérence, interaction, interdépendance, solidarités, solidité: production agricole ↔ choix alimentaires, transports et chauffage et achats ↔ énergie & pollution & emplois

2. compréhension des enjeux

réchauffement climatique

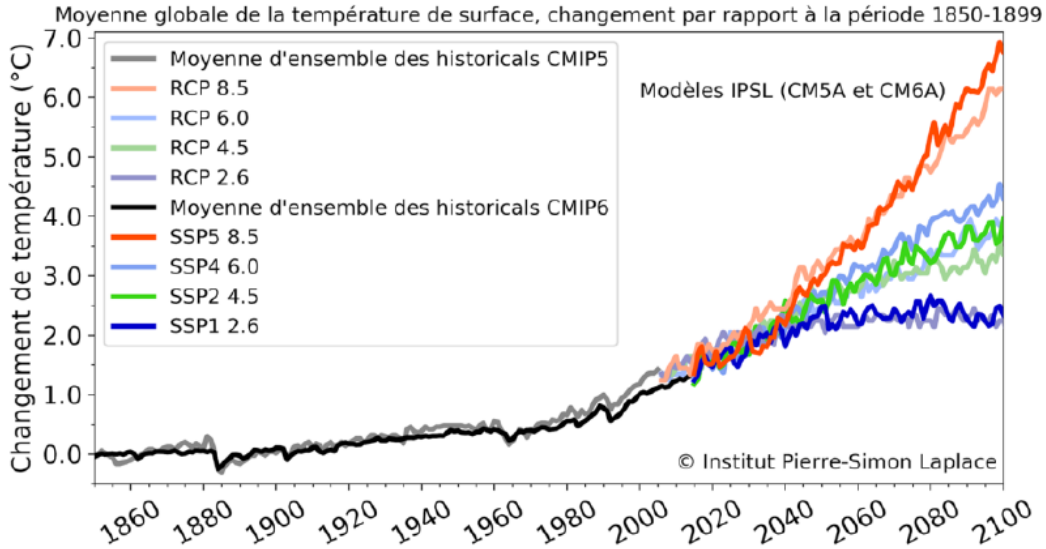
➔*scénarios du climat futur*

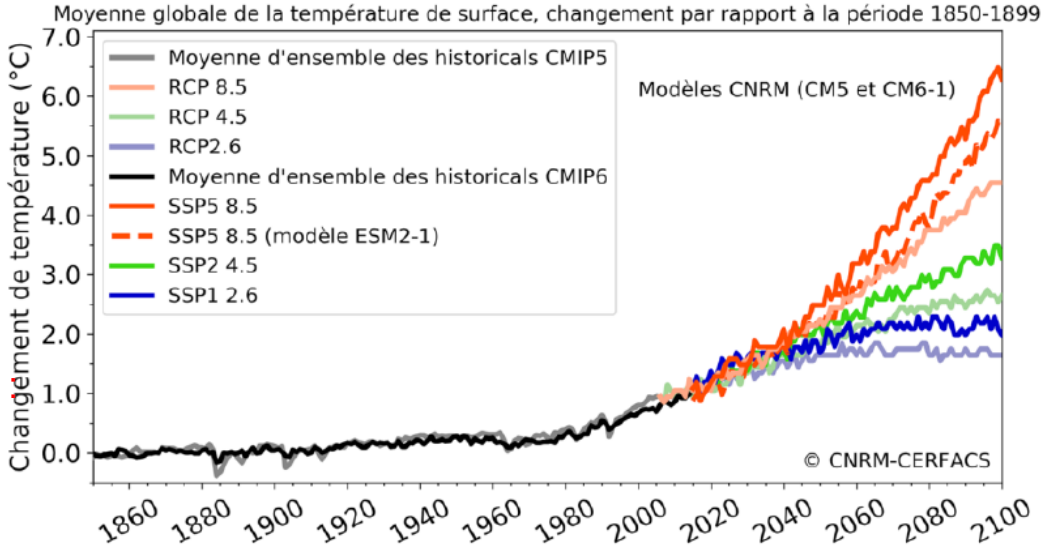
- **Representative Concentration Pathways**
  - RCP8.5 (+8,5 W.m^{-2} en 2100) : *laisser-faire*
  - RCP6.0 (+6,0 W.m^{-2} en 2100)
  - RCP4.5 (+4,5 W.m^{-2} en 2100)
  - RCP2.6 (+2,6 W.m^{-2} en 2100) : *volontariste, avec captage CO_2*
- **projections 2100 (GIEC)**
  - $\Delta T < 2°C \Rightarrow$ émissions < 1000 $GtCO_2$



mais

derniers travaux IPSL déc. 2019





2. compréhension des enjeux

2.3. déontologie, philosophie de l'action civique

- ▲ information
- ▲ objectivité, rigueur
- ▲ modération, démocratie (liberté), ouverture
- ▲ formation, évolution, épanouissement
- ▲ progrès humain et scientifique

- ▼ désinformation
- ▼ subjectivité, manipulation
- ▼ passion, autoritarisme (extrémisme), fermeture
- ▼ inadaptation, stagnation, stress
- ▼ déshumanisation, obscurantisme

3. local, global

3.1. solutions locales

- ▶ contrôlables à l'échelle humaine
  - démocratie participative et délibérative
  - responsabilité individuelle et collective
- ▶ rôle de démonstration
  - efficacité, retour d'expérience
- ➔ prolongation et amélioration (temps)
- ➔ généralisation (espace)

3.2. ici et maintenant

- ▶ urgence climatique, écologique et sanitaire

3.2. du local au global

- ▶ synergies globales des actions locales
- ▶ planification démocratique consciente bidirectionnelle

local
(individu, famille, quartier, commune, département, région)

global
(pays, Europe, monde)

4. la pédagogie au cœur du choix conscient

4.1. pédagogie de l'exemple

- échelle individuelle
  - déplacements doux, choix et conduite automobile
  - gestes quotidiens d'économies d'énergies
  - achats magasins locaux
  - alimentation + végétale + bio
  - investissements: isolation thermique, appareils sobres et utiles, EnR
- échelle communale
  - investissements → circulation, rénovation, équipements: sobriété, efficacité, EnR
  - fonctionnement → sobriété, démocratie, solidarités sociales et inter-quartiers, biodiversité
- échelle départementale et régionale
  - investissements → réseaux énergétiques intelligents couplés, planification Région-communes: EnR, stockages, transports collectifs
- échelle nationale
  - investissements → infrastructures nationales, planification Etat-Régions

4. la pédagogie au cœur du choix conscient

4.2. pédagogie de la transition

- échange des bonnes pratiques locales
- entraide à la mise en place des projets ➔Tepos
- formation par l'exemple ➔ personnels administratifs, élus, etc. / associations
- éducation des élèves
  - être acteurs
  - climat-énergie (sobriété, efficacité, EnR)
  - nature (respect, biodiversité, santé, solidarités sociales et inter-quartiers)
- formation professionnelle
  - nouveaux métiers (EnR, réseaux couplés intelligents, stockages, matériaux biosourcés, agriculture biologique et permaculture, etc.)
  - formation universitaire (Licence, Master, ingénierie, Doctorat) → climat-énergie
  - nouvelle économie (banques solidaires et écologiques, investissements à moyen terme, décarbonation des entreprises, etc.)
- échanges internationaux (villes, régions, entreprises, universités)
  - apprentissage des structures et des méthodes soutenables et efficaces

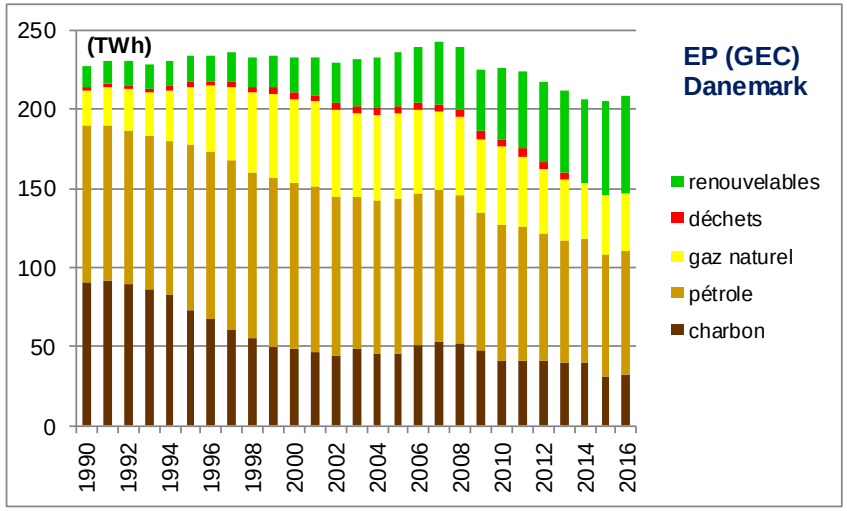
5. la transition éclairée

l'exemple danois

- politique planifiée démocratiquement depuis 1976
- rejet démocratique du nucléaire (débats + parlement: mars 1985)
- baisse continue de consommation EP:
  DK: 46,4 MWh/hab (1972) → 38,8 MWh (3,34 tep)/hab (2012)
  → 3,21 tep/hab (2016)
  F: 41,2 MWh/hab (1972) → 46,3 MWh (3,98 tep)/hab (2012)
  → 3,84 tep/hab (2016)
- forte baisse des émissions GES (hors UTCF):
  DK: 15,6 $tCO_{2éq}$/hab (1972) → 13,4 $tCO_{2éq}$/hab (1990)
  → 8,4 $tCO_{2éq}$/hab (2016) ► -36,9% par rapport à 1990
  F: 9,6 $tCO_{2éq}$/hab (1990) → 6,9 $tCO_{2éq}$/hab (2016)
  ► -28,1% par rapport à 1990
- PIB/hab:
  DK/F_{2016} = 1,45 ► DK 174,2 $tCO_{2éq}$/M€PIB
  France: 207,8 $tCO_{2éq}$/M€PIB (+19,3%)

le Danemark

lat. N 57°42'- N 54°35'
42922 km²
7314 km de côtes
391 îles
16% de forêts
0,1°C janvier
17,3°C juillet
1780 h d'ensoleillement
669 mm de pluie/an
5,63 millions d'habitants
130,5 habitants/km²

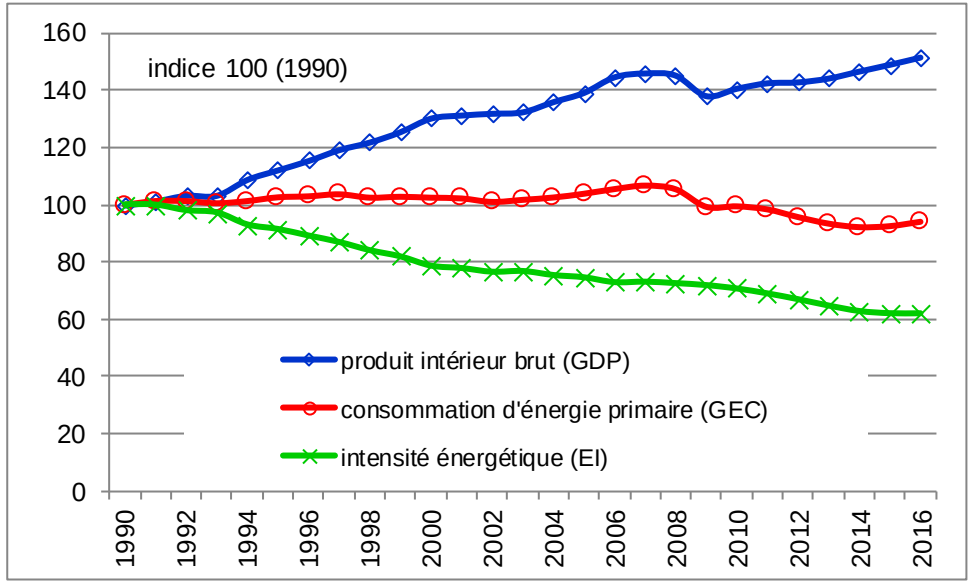


source:
Danish Energy Agency

5. la transition éclairée

l'exemple danois (suite)

- grande efficacité énergétique **EF/EP** (2016) = **83,8%** (France: **59,7%**)
- faible intensité énergétique **IEP** (2016) = **0,771 kWh/€PIB** (France **1,34 kWh/€PIB** ≡ ×1,74 Danemark)
- 1er producteur mondial éolien/habitant: 2230 kWh/hab en 2016 (France 320 kWh/hab)
- premiers parcs éoliens offshore
- électricité renouvelable + cogénération
  - → cogénération = 55,6% de la production électrique (France 2%)
    ≈ 100% de l'électricité hors éolien et photovoltaïque
  - → cogénération ≈ 66,5% de la chaleur des réseaux de chaleur
  - → cogénération → rendement > 90% (50% électr. + 40% chaleur)
  - → électricité renouvelable variable 44,3% (2016) (France: 5,4%)
  - → EnR = 60,5% électricité (2016) (France: 19,9%)
  - → électricité éolienne 43,4% (2017) (France: 3,9%)
- réseaux de chaleur 49,7% chauffage (43,7% habitat; 71,0% tertiaire)
- indépendance énergétique élevée 90% (France: 10%)
- part élevée des ENR: 32,3% EP (2017) ajustée des imports/exports (France 9,4%)



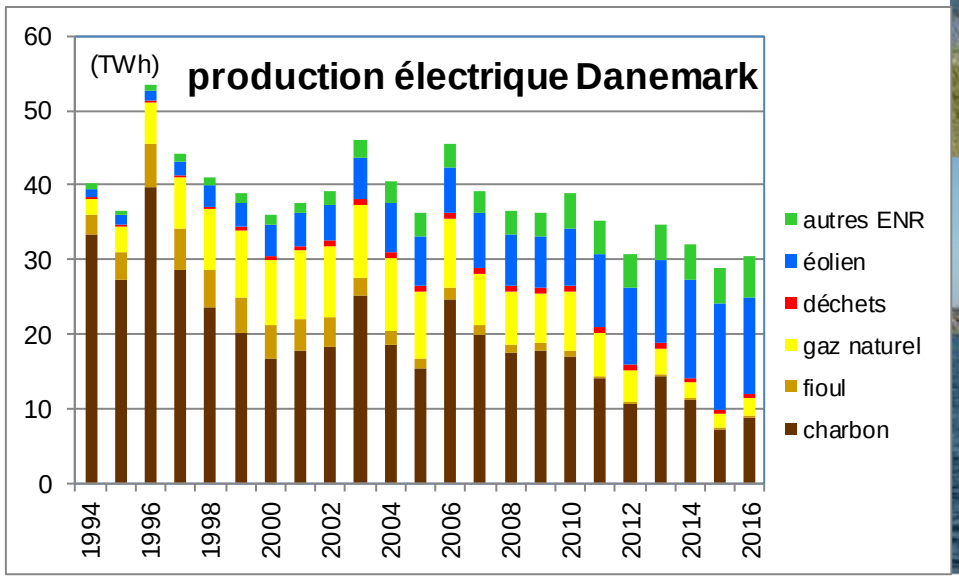
source: Danish Energy Agency

5. la transition éclairée

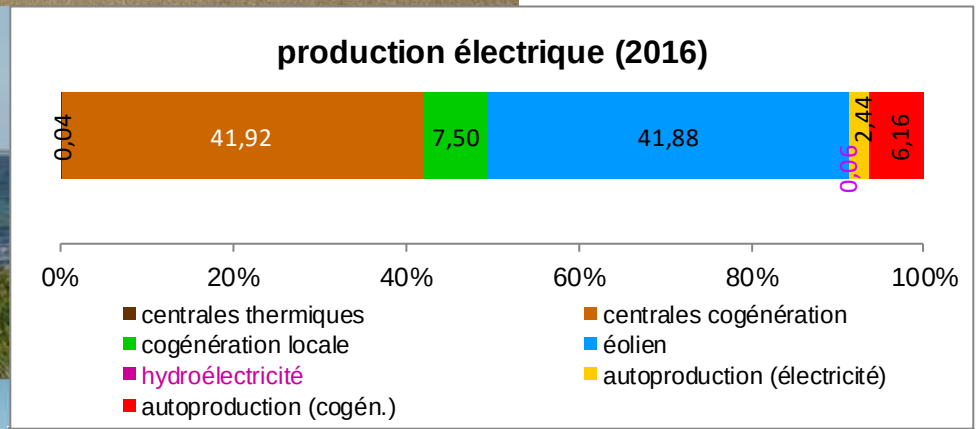
l'exemple danois (suite)

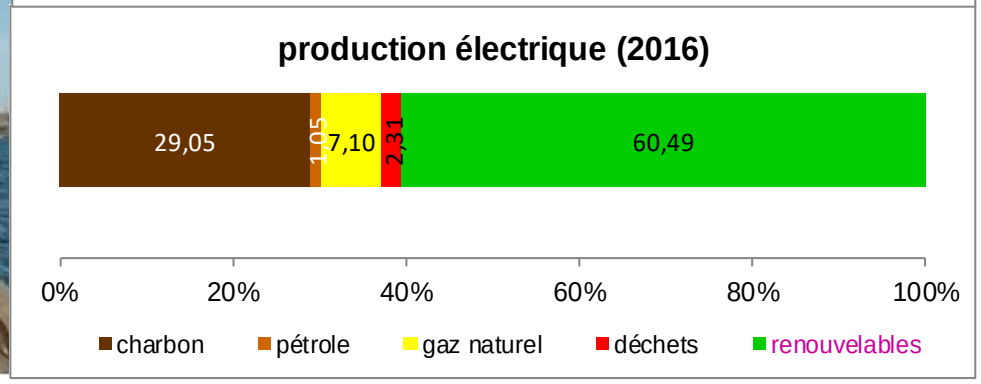
production électricité 2016

- cogénération généralisée
  dont ENR biomasse (28,1% CHP; 55,4% chp)
- forte pénétration éolien + photovoltaïque
- ► 90% éoliennes propriété citoyenne & publique
  (coopératives, municipalités, fermiers, individus)
- élimination progressive fioul, gaz et charbon



source: Danish Energy Agency





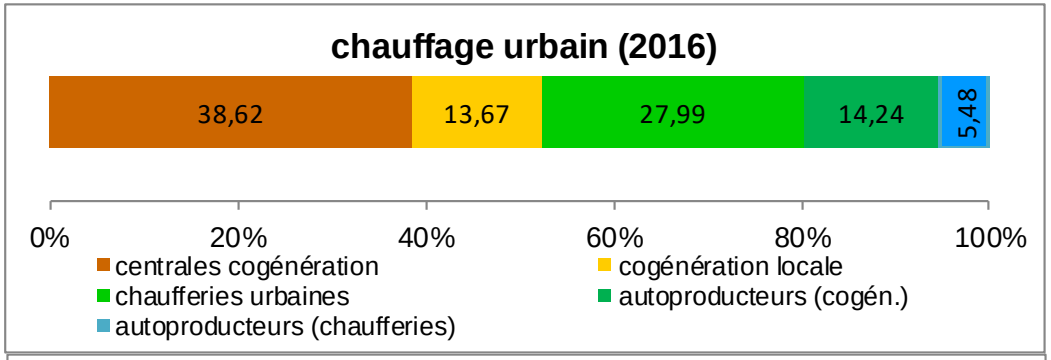
5. la transition éclairée

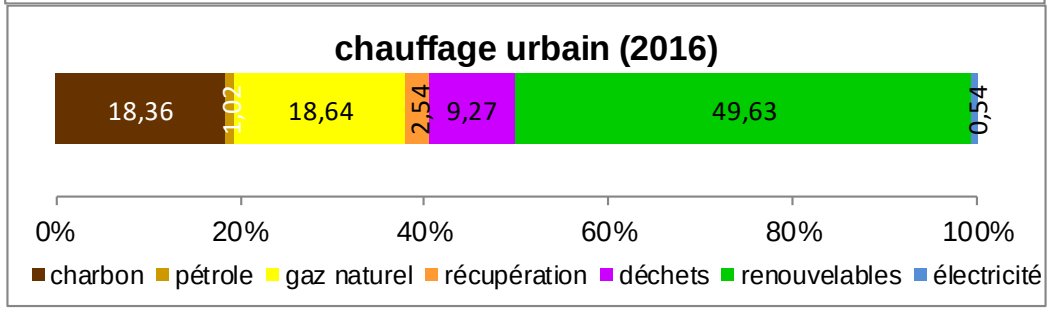
l'exemple danois (suite)

production chaleur 2016

- réseaux de chaleur généralisés
  - → ENR 49,6%
  - → 43,7% résidentiel
  - → 71,0% tertiaire (commerces, services)
- cogénération ► 66,5% réseaux de chaleur

solaire thermique systématique (20-50%): Aalborg, Smørum, Gram





source: Danish Energy Agency

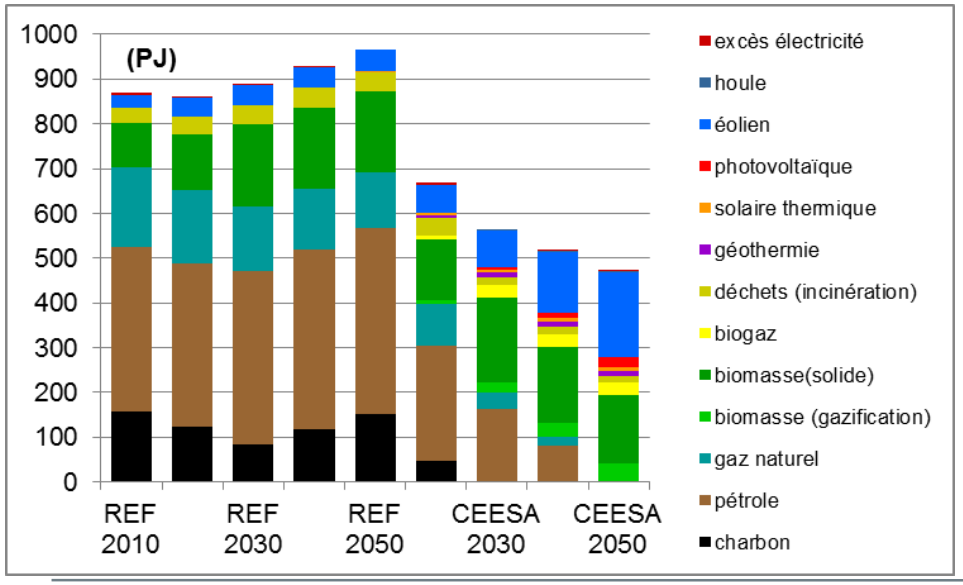
◄ DH_Mårup (Samsø)

▼ CHP-DH Gråsten

5. la transition éclairée

l'exemple danois (suite)

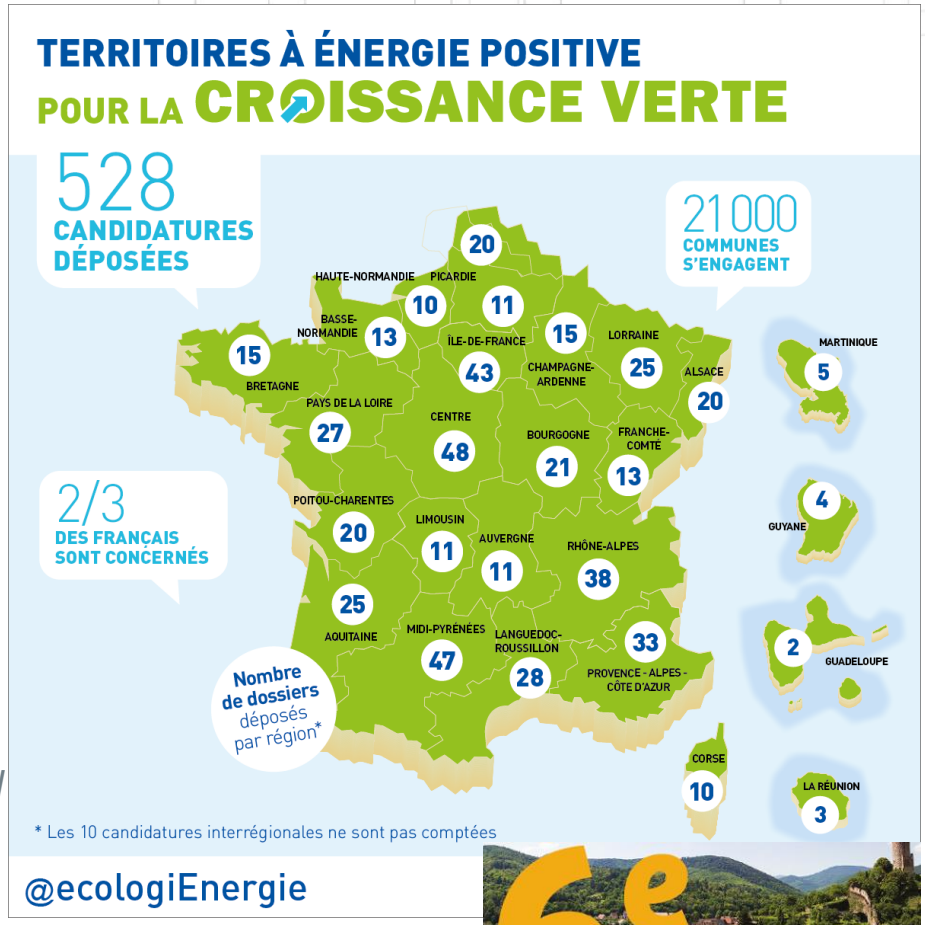
- **planification nationale 100% renouvelable 2050**
  - 35% consommation d'énergie finale = EnR en 2020
  - 50% électricité = éolien en 2020
  - 100% électricité et chaleur = EnR 2035
  - 100% énergie = EnR en 2050
- **mise en place des Smart Energy Systems**
  - réseaux électricité + chaleur + froid + gaz couplés
  - 50% électricité = éolien en 2020



5. la transition éclairée

les TEPOS

- Muttersholtz
  → économie 165 MWh (*éclairage, école BBC*), ENR 995 MWh (*micro-centrale hydraulique, photovoltaïque, réseau chaleur bois*)
- vallée de la Doller et du Soultzbach
  → *éclairage, rénovation énergétique, plan déplacement inter-entreprise et co-voiturage, autonomie énergétique de 2 sites de montagne isolés, réhabilitation 3 micro-centrales hydroélectriques, filière bois-énergie, soutien filières agricoles courtes et zéro-pesticide, 6 ambassadeurs de tri de déchets*
- vallée de Kaysersberg
  → *embauche 1 coordinateur, véhicules propres, pistes cyclables, aide autorénovation énergétique foyers précaires, éclairage, construction bâtiment public EP, restauration collective en bio local*
- Uzerche
  → *chaufferie bois, réseau chaleur, 2 mini-centrales hydroélectriques, éco-quartier 4 ha, 600 m² PV (école, auditorium) + parc PV 7 ha, méthaniseur pour réseau chauffage* ⇒ production ENR = 2 × cons finale



5. la transition éclairée

- Jonzac (3500 hab, Charentes-Poitou)

→ géothermie dès 1979 (-1800 m, 65°C)

→ réseau de chaleur jusqu'en 1986 puis cure thermale (15000/an, 100 emplois)

→ 2ème forage géothermique 1992 (-1872 m, 2 MW_{th}, 11500 kWh/an)

→ pompe à chaleur en retour (+10% de production), centre aquatique (2500/j)

→ réseau de chaleur sur plus de 30 km, 3000 logements

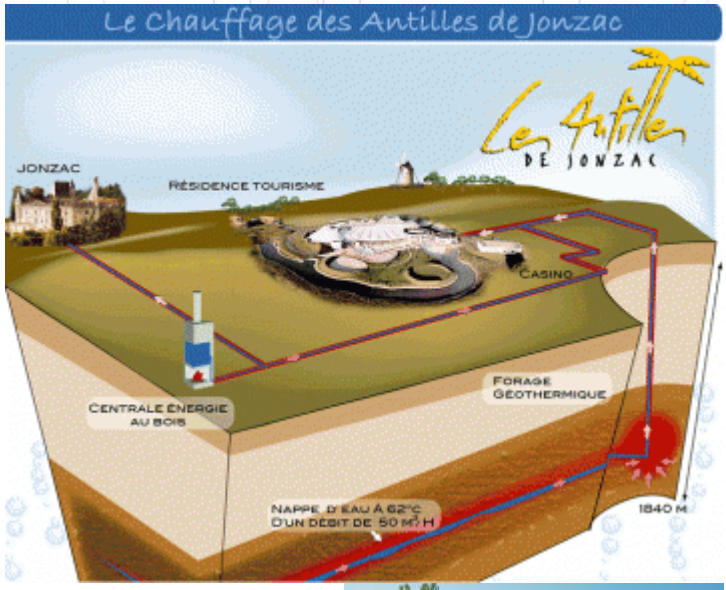
→ chaudière bois (50000 m^3/an) + cultures énergétiques locales (eucalyptus, pinus, saules)

→ 4 parcs photovoltaïques:

- 17 ha, 10,7 MW_c, 12550 MWh/an pour 5000 foyers (exploitation Longsol)
- 16,5 ha, 5,5 MW_c (exploitation EDF-EN)
- 10 ha, 5,1 MW_c (exploitation Eosol)
- 3,5 ha, 1,5 MW_c (exploitation Dubreuil Sarl)

→ projets 2017:

- 5 forages géothermiques (1 à -1850 m, 4 à -80 m ouverts pour baignade)
- 2ème réseau de chaleur 2,5 MW + réseau de froid 0,45 MW
- approvisionnement du centre aquapaludique (élimination des 20% restants d'énergies fossiles encore consommées), d'un centre de congrès, d'une maison de retraite, d'un hôtel
- 2 parcs photovoltaïques (12 ha, 12 MW chacun), ombrières PV 100 kW pour recharge VE, toits PV court de tennis, centrale PV pour station épuration)
- 1 unité de biogaz



6. l'avenir vous appartient

► agir vite

- mettre en place les débat-conférences citoyens
- modifier – améliorer - construire les Plans Climat-Energie, les SRADDET
- modifier les PPE à venir ➔ systèmes énergétiques intelligents
- renforcer et verdir la RE2020 (EnR, chauffage électrique)
- sortir très vite des énergies fossiles (2020 – 2030)
- sortir des pesticides
- sortir du tout voiture, tout camion ➔ respirer
- nucléaire ↘ , EnR + sobriété + efficacité ↗
- mettre en place les taxes carbone, azote, fossile

6. l'avenir vous appartient

► pour prévenir la catastrophe climatique

- responsabilité des citoyens
- responsabilité des élus
- responsabilité des consommateurs
- responsabilité des salariés, fonctionnaires
- responsabilité des entreprises
- responsabilité des agriculteurs
- responsabilité des formateurs
- responsabilité des journalistes
- responsabilité des créateurs, des artistes, des artisans
- responsabilité des chercheurs

► pour construire un monde soutenable

… sans attendre

6. l'avenir vous appartient

éléments d'information

Travaux recherche:

https://www.researchgate.net/publication/331970450_PROPOSITIONS_POUR_LA_TRANSITION_ENERGETIQUE_DANS_LE_HAUT-RHIN_ET_LE_TERRITOIRE_DE_BELFORT_APRES_FERMETURE_DEFINITIVE_DE_LA_CENTRALE_NUCLEAIRE_DE_FESSENHEIM

https://www.researchgate.net/publication/330912552_VERS_UN_SYSTEME_ENERGETIQUE_EFFICACE_POUR_LA_FRANCE_-_CONTRIBUTION_AU_DEBAT_PUBLIC_PPE_Towards_an_efficient_energy_system_for_France_-_contribution_to_the_French_public_debate_on_the_Multiannual_Energ

https://energiesocieteecologie.home.blog/2016/02/06/la-transition-energetique-du-danemark/

http://cpdp.debatpublic.fr/cpdp-cigeo/_script/ntsp-document-file_downloadda21.pdf?document_id=157&document_file_id=165

http://cpdp.debatpublic.fr/cpdp-cigeo/_script/ntsp-document-file_download8fba.pdf?document_id=158&document_file_id=166

https://www.researchgate.net/publication/24148319_Plancher_solaire_direct_mixte_a_double_r'eseau_en_habitat_bioclimatique_-_Conception_et_bilan_thermique_r'eel_Double_direct_solar_floor_heating_in_boclimatic_habitation_-_Design_and_real_energetical_b

https://energiesocieteecologie.home.blog/2020/02/02/vieillissement-thermique-sous-irradiation-des-aciers-nucleaires-et-prolongement-de-service-des-reacteurs-nucleaires-900-mw/

Véhicules électriques rechargeables, analyses de cycle de vie EnR, pollution camions GNL:

http://www.fondation-nicolas-hulot.org/sites/default/files/vehicule_electrique_rapport.zip

https://innovationorigins.com/correcting-misinformation-about-greenhouse-gas-emissions-of-electric-vehicles-auke-hoekstras-response-to-damien-ernsts-calculations/

https://www.ffe.de/publikationen/pressemeldungen/856-klimabilanz-von-elektrofahrzeugen-ein-plaedoyer-fuer-mehr-sachlichkeit

https://www.ffe.de/attachments/article/856/Klimabilanz_Elektrofahrzeugbatterien_FfE.pdf

https://www.ffe.de/attachments/article/698/Begleitdokument_Klimabilanz_Elektrofahrzeugbatterien_FfE.pdf

https://www.ffe.de/attachments/article/856/Klimabilanz_Elektrofahrzeugbatterien_FfE.pdf

https://www.rte-france.com/sites/default/files/electromobilite_synthese_9.pdf

https://northvolt.com/

https://www.ademe.fr/terres-rares-energies-renouvelables-stockage-denergies

https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2019_09_do_gas_trucks_reduce_emissions_paper_FR.pdf

https://sonomotors.com/en/sion/

https://www.renault.fr/vehicules/vehicules-electriques/nouvelle-zoe/dimensions-et-moteur.html

Merci pour votre attention