

2. Notions fondamentales

2.2 – Énergie

2.2.6 – Exercices

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

Département de génie mécanique

Remerciements et info

- Les exercices proposés dans cette présentation sont aussi disponibles sous forme de fichiers pdf dans le répertoire :
 - Évaluations formatives (Exercices)
- Merci aux étudiant-es qui ont proposé ces problèmes au fil des années!!
- Grâce aux contributions continues des étudiants, cette présentation est susceptible de s'allonger avec les années.

Note: La présentation est à l'état brut, je ne dispose pas des ressources pour livrer une vidéo parfaite et je vous remercie à l'avance pour les commentaires qui permettront d'améliorer cet enregistrement qui n'a pas été édité.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Exercices
- Conclusion

Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs de la capsule***
- Exercices
- Conclusion

Introduction et objectifs

- Dans le module 10, l'un des thèmes (**T10.3**) concerne une méthodologie d'analyse systématique qui peut s'appliquer à n'importe quel type de problème technique.
 - Une présentation classique est disponible en vidéo de même que quelques courtes vidéos explicatives.
- Cette méthodologie est employée ici de manière plus ou moins exhaustive en fonction exhaustive.
 - L'ingénierie est à la fois science et art
 - Ainsi, dans ce qui suit, parfois c'est appliqué à la lettre, parfois plus « rondement ».

Introduction et objectifs

- Résumé de la méthodologie proposée
 1. Connu: *Ce que vous savez du problème*
 2. Recherché: *Ce que vous désirez déterminer*
 3. Schéma: *Pour vous permettre de visualiser le problème*
 4. Hypothèses: *Ce que vous faites pour simplifier l'analyse*
 5. Propriétés: *Ce que vous devez savoir pour résoudre le problème*
 6. Analyse: *Le cœur de votre démarche*
 7. Commentaires: *Pour prendre du recul et juger la solution obtenue et prendre la décision de raffiner celle-ci ou d'arrêter l'analyse*

Introduction et objectifs

- Dans le module 10, l'un des thèmes (**T10.1**) concerne une méthodologie d'estimation des ordre-de-grandeurs.
 - Il y a beaucoup de cette méthodologie dans ce qui suit aussi.
- Enfin, le module 10 comporte aussi un thème (**T10.2**) qui a trait à la faisabilité technico-économique des projets, qu'ils soient en énergétique ou non
 - Quelques uns des problèmes présentés ici, comportent une part restreinte d'estimations « ultra-simplifiées » de la viabilité économique des sujets abordés.

Introduction et objectifs

- Objectifs

- Présenter des analyses simples de problèmes pratiques réels mal définis.
- Illustrer l'emploi de :
 - La méthode systématique de résolution de problèmes
 - L'estimation des ordres de grandeur
 - L'analyse technico-économique
- Préparer les étudiants à travailler à la fois de manière systématique mais en employant les moyens les plus simples d'abord pour estimer la viabilité d'un projet, d'une idée.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- ***Exercices***
- Conclusion

Exercices – Les canneberges

- Énoncé
 - Un individu achète une tourbière pour y faire pousser des canneberges. Le terrain comporte un garage qui ne peut être connecté au réseau HQ. Cette bâtisse est chauffée au mazout léger et est éclairée par un système photovoltaïque de 1500Wc.
 - Pour économiser du mazout, l'individu se demande s'il ne pourrait pas stocker l'énergie électrique non-utilisée en été afin de réduire son chauffage en hiver.
 - Qu'en pensez-vous?

**NOTE: Ceci est un réel problème proposé par un fermier de la région de la Beauce.
Le type de problème que l'on vous soumet lorsque vous faites une carrière de consultant.**

Exercices – Les canneberges

- Cette question vaut-elle la peine de démarrer une étude approfondie de la question?
 - NON! On commence toujours par faire un estimé de l'ordre de grandeur des quantités en jeu. Faisabilité physique
 - NON! On poursuit ensuite par faire un estimé préliminaire simple de la viabilité financière du projet.
- Ensuite, si ces deux analyses semblent prometteuses, on creuse davantage.

Exercices – Les canneberges

- Données connues
 - La puissance installée, 1500Wc
 - Le fait que ce système produit de l'énergie inutilisée
 - Le fait que le client est prêt à considérer une solution pour stocker cet excédent pour économiser du mazout en hiver.
- Données à aller chercher
 - Le coût de son mazout actuel et pour les années futures

Exercices – Les canneberges

- Recherché
 - Ce projet de stockage saisonnier est-il viable? Combien ça va coûter? Combien d'économies seront engendrées? Quelle est la PRI du projet?
- Schéma
 - Pas requis, il n'y a pas de flux, de contraintes, de circuits électriques à considérer.
 - Un croquis des installations est inutile hormis si on va de l'avant car il faudra trouver un endroit pour caser le système de stockage dans le bâtiment et dessiner le câblage électrique supplémentaire requis.

Exercices – Les canneberges

- Hypothèses

- Doit-on aller chercher le fichier météo de l'endroit? NON, pas à cette étape.
- Supposez au départ que les 1500Wc sont récupérables à 100% 5 heures par jour et 100 jours par an entre le 1^{er} juin et le 1^{er} septembre.
 - C'est strictement faux.
 - C'est cependant une hypothèse plausible pour estimer la quantité d'énergie qui sera générée par les panneaux EN sus de celle employée pour éclairer.
 - On remplace une succession de 100 jours de production par 100 fois un profil équivalent pour éviter de mettre en œuvre des moyens trop importants.

Exercices – Les canneberges

- Hypothèses

- Combien coût le mazout? 1,10\$/L, on va faire un calcul optimiste avec une valeur de 1,5\$/L pour tenir compte de l'inflation.
- Quel est le rendement de combustion de la chaudière? 80%-90%? On va supposer un rendement moyen sur l'année 83%. (Ce qui n'est ni extraordinaire, ni horrible).

Exercices – Les canneberges

- Propriétés

- Pour comparer l'énergie produite par des panneaux PV et celle produite par la combustion, il faut obtenir la valeur du pouvoir calorifique inférieur du combustible en question.

- Sur wiki, vous trouverez:

- Diésel : 12,44 kWh/kg mais de spécifications PCS ou PCI

- Fioul: 11,86 kWh/kg pour le PCI

- Fioul: 12,80 kWh/kg pour le PCS

- Dans les stats de l'IEA

- Diésel : 43,38 MJ/kg

- Avec un densité de 0,85 et 3600J/Wh ceci donne environ 10,00kWh/L de diésel

Exercices – Les canneberges

- Analyse

- Combien d'énergie excédentaire produisent les panneaux?

- $1500 \text{ W} \times 5 \text{ h/j} \times 100 \text{ j} \approx 750 \text{ kWh}$ (Notez l'usage du symbole \approx qui indique un estimé à 30% près environ. L'usage du symbole \sim indique un estimé par un facteur 5 près, donc entre 150 et 3750 kWh, ce qui est trop – voir T10.1)

- Combien cela coûterait-il en électricité?

- Le tarif HQ le plus élevé pour les petites installations oscille autour de 0,10\$/kWh, la valeur en électricité est donc de **75\$**.

- Combien cela coûterait-il en mazout?

- Le volume de mazout **théorique** requis est de $750 \text{ kWh}/(10\text{kWh/L}) = 75 \text{ L}$
- Mais avec le rendement: $75\text{L}/0,83 = 90\text{L}$ sont requis puisqu'une partie de l'énergie de contribue pas à produire de la chaleur dans cette installation
- Et 90 L de mazout valent (ou vaudront) **135\$** environ.

Exercices – Les canneberges

- Commentaires (l'étape la plus importante)
 - Le projet est-il envisageable?
 - Évidemment, cela dépend de ce que le client est prêt à tolérer comme PRI. Un gros client, exige des PRI courtes < 1 année, la plupart du temps, hormis pour des clients institutionnels qui pensent à plus long terme.
 - Un client particulier (mettez-vous un instant à sa place) demande souvent une PRI de 5 ans max.
 - Dans cette perspective, 5 x les économies annuelles donne **675\$** comme CAPEX (matériel, transport, installation) maximum pour un système de stockage saisonnier.

Exercices – Les canneberges

- Commentaires (l'étape la plus importante)
 - Le projet est-il envisageable?
 - Croyez-vous qu'il soit possible de stocker 750kWh (peu importe la technologie implantée) pendant 4 mois pour le restituer en chauffage en octobre avec un système qui coûte **675\$**?
 - NON, il ne sert donc à rien de commencer à chercher des systèmes de stockage (gravitationnel, pompage d'eau, batterie, air comprimé, et autres « usines à gaz » pour un projet condamné dès le départ.

Exercices – Les canneberges

- Commentaires (l'étape la plus importante)
 - Une étude paramétrique est-elle requise?
 - Lorsque la chose est possible, je vous encourage à employer un logiciel pour réaliser vos analyses.
 - Vous faites un calcul simple à la main (avec calculatrice simple).
 - Puis vous implantez cette solution dans un logiciel
 - Enfin, vous validez à la fois le calcul simple ET l'implantation en constatant que les deux solutions sont les mêmes.
 - Par la suite, il est possible de faire une étude paramétrique.
 - NON, ici il n'est pas requis de faire une étude paramétrique et voici pourquoi.

Exercices – Les canneberges

- Commentaires (l'étape la plus importante)
 - Une étude paramétrique est-elle requise?
 - En effectuant une analyse complète du rayonnement sur le site, vous pourriez peut-être trouver que sur une année il y aura davantage que 750kWh d'énergie excédentaire produite par rapport à ce qui est requis pour l'éclairage.
 - En fait, en 30 secondes vous pouvez employer PVWatts (T9.4) et déterminer que la production totale d'un collecteur de 1 500Wc orienté plein sud à 45° ne produira à Montréal que 1945 kWh (1857 kWh à St-Georges de Beauce) annuellement.
 - PVWatts vous dira qu'en décembre et novembre seuls 32 kWh sont produits donc une moyenne de 3kWh par jour qui devrait être la charge d'éclairage.

Exercices – Les canneberges

- Commentaires (l'étape la plus importante)
 - Une étude paramétrique est-elle requise?
 - Si vous soustrayez 32 kWh chaque mois de la production totale ce sera :
 $30 \text{ kWh} \times 12 \text{ mois} = 360 \text{ kWh}$ donc l'excédent à St-Georges devient 1500 kWh, soit le double de l'estimé de 750 kWh.
 - Mais cela **ne change pas la conclusion de l'analyse**. Au mieux, on pourrait dire que le système X pourrait coûter jusqu'à **1350\$**.
 - Mais on néglige une foule de facteurs économiques qui ne sont pas considérés ici (OPEX [opération, entretien, maintien d'actifs], inflation, taux d'actualisation, VAN, TRI, voir T10.2).
 - Pour vous convaincre, nous allons (de manière inutile mais instructive) considérer la batterie en vogue: Lithium-ion.

Exercices – Les canneberges

- Commentaires (l'étape la plus importante)
 - Une étude paramétrique est-elle requise?
 - Le prix des batteries lithium-ion a chuté de 87% en moins de 10 ans. C'est ce qui ressort d'une étude publiée par Bloomberg New Energy Finance. Le prix moyen au kWh s'élevait à près de 1 200 dollars (environ 1 070 euros) en 2010. Il a fortement diminué pour atteindre 156 dollars (environ 140 euros) en 2019.
 - Pour accumuler 750 kWh en octobre de chaque année, il faudrait investir plus de **100 000\$**. Et changer cette batterie après 8-12 ans.

Exercices – Les canneberges

- Conclusion
 - Nous avons procédé à une analyse préliminaire simple d'un problème réel, donc mal défini.
 - Nous avons employez **EXPLICITEMENT** la méthodologie d'analyse ou démarche proposée dans ce cours
 - L'analyse préliminaire permet de conclure que le projet de stockage saisonnier ne peut pas être viable
- Épilogue
 - Le système actuel comporte une batterie de type « décharge profonde ». Ajouter un port 12V a permis de recharger de petits appareils, des batteries d'appoint (en mAh!) et de faire jouer de la musique dans le bâtiment pour pas cher.

Exercices – Le boeing 747-400

- Seriez-vous capable de faire décoller un Boeing 747-400 si ses réservoirs étaient au départ rempli d'éthanol (à la place du kérosène) et de lui faire traverser l'[Atlantique](#)?



The right choice for the large airplane market



Copyright © 2010 Boeing. All rights reserved. www.StartupBoeing.com

May 2010

747-400 performance summary

General Electric engines

		Basic	Maximum ²
Passengers Cargo	(FC/BC/EC) pallets/containers ¹	416 (23/78/315) 5/14	
Engines SL standard-day takeoff thrust/flat-rated temperature (BET)	lb/°F	CF6-80C2B1F 56,500/90	CF6-80C2B5F 62,100/86
Maximum taxi weight	kg (lb)	364,230 (803,000)	398,250 (878,000)
Maximum takeoff weight	kg (lb)	362,870 (800,000)	396,890 (875,000)
Maximum landing weight	kg (lb)	260,360 (574,000)	295,740 (652,000)
Maximum zero fuel weight	kg (lb)	242,670 (535,000)	251,740 (555,000)
Operating empty weight ³	kg (lb)	182,480 (402,300)	182,840 (403,100)
Fuel capacity	L (U.S. gal)	203,520 (53,765)	216,010 (57,065)
Design range (MTOW, full passenger payload)	nmi (km)	6,080 (11,260)	7,225 ⁴ (13,380) ⁴
Cruise Mach		0.855	0.855
Takeoff field length (SL, 86°F, MTOW)	m (ft)	2,815 (9,250)	3,015 (9,900)
Initial cruise altitude (MTOW, ISA + 10°C)	ft	34,700	32,700
Landing field length (MLW)	m (ft)	1,905 (6,250)	2,175 (7,150)
Approach speed (MLW)	kias	146	157
Fuel burn/seat 6,000 nmi	kg (lb)	298.2 (657.4)	298.6 (658.4)

Exercices – Le boeing 747-400

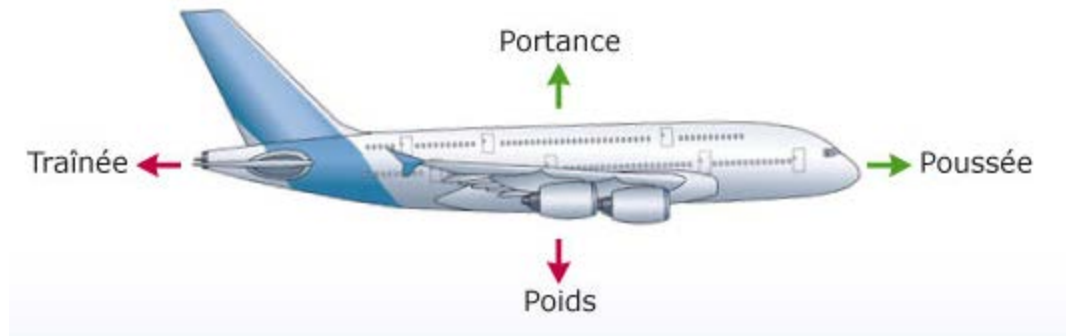
- Données connues ou facilement repérables
 - Disponibles sur le web (pour la plupart des problèmes, aujourd’hui le web représente une source formidable!)
 - Double-vérification ou alors employer les données les plus probantes (Wiki ne donne pas toujours des données fiables. Il est recommandé de confronter deux sources)
 - Masse à vide, 179T (la fiche indique 182T);
 - Masse max au décollage, 397 T (la fiche indique 398T);
 - Capacité de kérosène, 216 840 L (la fiche indique 216 010 L);

Exercices – Le boeing 747-400

- Données connues ou facilement repérables
 - Vitesse au décollage, 290km/h (donnée sur Wiki, faut vérifier)
 - Vitesse en vol, 900 km/h (Mach 0,855 ou près 250 m/s, en 2020 un avion a dépassé M1)
 - Autonomie, 13 380 km (11 260 km-13 450 km dépend des moteurs de la configuration)
 - Altitude en croisière 10 000 m (32 000 – 34 000 pi.)
 - Longueur de la piste au décollage, 3,015 km
 - Max thrust, 276 234 N (62 100 lb)

Exercices – Le boeing 747-400

- Recherché
 - Peut-il décoller avec de l'éthanol?
 - Peut-il traverser l'Atlantique avec de l'éthanol?
- Schéma



Exercices – Le boeing 747-400

- Hypothèses
 - On ne peut pas injecter davantage de carburant dans les moteurs
 - Donc, la différence de PCI va déterminer si l'on peut décoller avec de l'éthanol.

Exercices – Le boeing 747-400

- Propriétés

- PCI Kérosène : 43,1 MJ/kg Wiki avec onversion 4,1855 j/kcal
- PCI kérosène : 42,8 MJ/kg <https://sites.google.com/site/tpefeg/2---carburant/carburant>
- PCI Kérosène : 43,92 MJ/kg (35,25 MJ/L, densité de 0,803 kg/L)
IEA, manuel sur l'énergie, 2005
- PCI **Éthanol** : 27,0 MJ/kg (21,30 MJ/L, densité 0,789 kg/L)
- Le rapport des deux PCI est donc de 0,69 ou 1,62 en fonction de celui qui divise l'autre. Il faut $\approx 60\%$ plus d'éthanol que de kérosène pour produire la même puissance.

Exercices – Le boeing 747-400

- Analyse en vol
 - Une fois en vol, on peut calculer l'énergie cinétique et potentielle qu'il a fallu dépenser pour arriver à 10 000m
 - $E = E_k + E_p = \frac{1}{2} m V^2 + mgh \approx \frac{1}{2} 397\,000 (250^2 + 9,81 \times 10\,000) \approx 50\,000 \text{ MJ}$
 - Mais cela n'est pas utile du tout! Ou presque

Exercices – Le boeing 747-400

- Analyse en vol
 - Une fois en vol, il faut fournir de l'énergie pour maintenir l'avion à son altitude de croisière
 - Sans moteur il planerait avec un ratio de planage, GR ou « gliding ratio », $\approx 17:1$
 - il descendrait de 1000 m au 17 km environ et s'écraserait après 170 km de vol plané. Même avec un seul moteur (accident de 1982), il peine à rester en vol.
 - En vol plané, un B747 a donc besoin d'une puissance qui lui permet de rester à son altitude telle que (avec $(dh/dt) = V/GR$) :
 - $P = (dh/dt) mg = 250 \text{ [m/s]} / 17 \times 397\,000 \text{ [kg]} \times 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} = \mathbf{57,3} \text{ [MW]}$ de puissance requise pour l'empêcher de descendre.

Exercices – Le boeing 747-400

- Analyse en vol

- Une autre manière de voir les choses est de considérer qu'en vol le B747 doit exercer une force qui combat la trainée et égale la trainée induite par la portance

- La force de trainée F_t est de:

$$F_t = \frac{1}{2} C_t \times \rho \times A_f \times V^2 = 0,5 \times 0,03 \times 0,4 [\text{kg}/\text{m}^3] 180 [\text{m}^2] \times 250^2 [\text{m}/\text{s}]^2 = 168\,750 \text{ N}$$

- La force de trainée induite par la portance à exercer en vol F_p (celle fournie par les moteurs) est de:

$$F_p = \frac{1}{2} (mg)^2 / (\rho \times A_p \times V^2)$$

$$F_p = 0,5 \times (397000 [\text{kg}] \times 9,81 [\text{m}/\text{s}^2])^2 / (0,4 [\text{kg}/\text{m}^3] \times 250 [\text{m}/\text{s}] \times 4500 [\text{m}^2]) = 67\,412 \text{ N}$$

- Comme chaque moteur peut appliquer une force de 276 000 N, on en conclut qu'en vol l'appareil n'utilise pas toutes ses ressources.
- Les deux forces combinées donnent 236 000 N environ pour une puissance telle que
- $P = (F_t + F_p) \times V = 236\,000 [\text{N}] \times 250 [\text{m}/\text{s}] = 59 [\text{MW}]$ ce qui valide le calcul précédent de **57,3** [MW] de puissance requise pour l'empêcher de descendre.

Exercices – Le boeing 747-400

- Analyse en vol
 - Avec une efficacité de combustion de 30%, des 35,25MJ/L disponibles seulement 10,6 MJ/L sont fournis au moteur qui consomme alors
 - $\dot{V} = 57,3 \text{ MW} / (10,6 \text{ MJ/L}) = 5,4 \text{ L/s}$ de kérosène en régime stationnaire.
 - On peut s’amuser à considérer qu’à 1,X\$/L ça coûte $\approx 20\,000\$/\text{heure}$ en carburant
 - Comme pour parcourir l’Atlantique (6000 km) à environ 240 m/s en moyenne, on conclut qu’il faut environ 7h (25 000s) pour traverser et employer 135 400 L de kérosène sur un réservoir qui en fait 216 000 (62% environ).

Exercices – Le boeing 747-400

- Analyse en vol
 - S'il faut 135 400 L de kérosène en croisière, on peut penser qu'il faudrait : $43,9/27 = 1,62 \times$ + d'éthanol ou $\approx 220\ 000$ L ce qui ne permet pas de traverser (c'est davantage que la capacité des réservoirs).
 - C'est pourquoi les vols avec carburants contenant de l'éthanol en contiennent un certain %, 15%, mais pas totalement.
 - Les combustibles fossiles sont difficiles à remplacer pour les vols intercontinentaux.

Exercices – Le boeing 747-400

- Analyse en décollage
 - Un décollage au kérosène requiert environ 4000 L. Pour obtenir la même puissance, en théorie il faudrait injecter 1,62 x + d'éthanol et ça fonctionnerait. L'autonomie serait affectée mais ça marcherait.
 - Cependant, injecter $\approx 2500\text{L}$ de fuel de plus en $\approx 80\text{ s}$ (durée du décollage) dans les moteurs n'est peut-être pas possible!
 - L'autre solution consisterait à diminuer le volume de carburant initial pour alléger l'appareil, mais l'autonomie serait encore affectée.

Exercices – Le boeing 747-400

- Commentaire

- Cette analyse est assez loin d'être complète!
- Mais elle permet de comprendre que si l'éthanol et le kérosène ont des PCI dans le même ordre de grandeur, interchanger les carburants affectera le design des moteurs et encore plus certainement l'autonomie en vol.
- Changer la valeur de certains paramètres lorsque les ordre-de-grandeurs sont similaires peut faire différer les conclusions d'une étude
- D'ailleurs, le Dreamliner (B787) a volé souvent avec une proportion d'éthanol dans ses réservoirs et sur de longues distances.

Exercices – Les 48 collecteurs PV

- Depuis 2010, le coût des panneaux photovoltaïques a diminué de 75 % et celui des onduleurs a baissé de 60 % depuis 2011.
- A quel tarif Hydro-Québec devrait-il vendre son électricité (au tarif supérieur aux 30 premiers kWh consommés) pour qu'il soit rentable de payer 21 000\$ pour installer 48 collecteurs de 200Wc?

Exercices – Les 48 collecteurs PV

- Données (ce qui est connu):
 - CAPEX = 21 000\$,
 - tarif employé = 0,0912\$/kWh (résidentiel au tarif domestique)
 - Puissance crête des 48 collecteurs = 200 Wc
- Demande (ce qui est recherché):
 - Quel devrait être le tarif supérieur (modifié à la hausse sans doute) pour « rentabiliser » l'installation?
- Schéma:
 - Non requis

Exercices – Les 48 collecteurs PV

- Hypothèses (ce qui doit être formulé pour compléter les données):
 - Irradiation solaire sur une surface orientée Sud et inclinée à 45° à Montréal = $4,44 \text{ kWh/m}^2/\text{j}$ ou $1621 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ (PVWatts)
 - Surface d'un collecteur $1,2 \text{ m}^2$
 - Rendement de conversion moyen = 14%
- Propriétés (complément d'information sur les matériaux):
 - Aucune

Exercices – Les 48 collecteurs PV

Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)
January	3.13	828	76
February	4.34	984	90
March	5.19	1,291	118
April	5.10	1,188	108
May	5.40	1,249	114
June	5.08	1,117	102
July	5.54	1,224	112
August	5.49	1,223	112
September	5.02	1,105	101
October	3.67	883	81
November	2.80	679	62
December	2.54	674	61
Annual	4.44	12,445	\$ 1,137

Exercices – Les 48 collecteurs PV

- Analyse:
 - Il tombe 1621 kWh/m² sur des collecteurs de 1,2 m² chacun ce qui donne 1944,72 kWh/an
 - Collectivement les collecteurs reçoivent 1944,72 kWh x 48 soit 93 347 kWh/an
 - Puisque leur rendement de conversion est de 0,14, ils devraient produire en moyenne 13 000 (13 069) kWh d'électricité
 - Un calcul avec PVWatts donne 12 500 (12 445) kWh d'électricité produite
 - Donc, les deux analyses se valident l'une l'autre.

Exercices – Les 48 collecteurs PV

- Analyse:
 - La valeur de cette électricité au tarif supérieur actuel (on prend le scénario optimiste pour l'instant) est de $13069 \times 0,0912 \approx 1\,200\$/\text{an}$.
 - La PRI simple (sans égard à autre chose que le CAPEX) est ainsi de $21\,000\$/1\,200\$/\text{an} = \mathbf{17,5 \text{ années}}$
 - Qu'est-ce qu'une PRI acceptable?
 - Environ 5 ans pour un particulier qui désire investir sur une maison
 - Ceci n'est pas un absolu
 - Si on désire une PRI de 5 ans, il faut que la valeur de l'électricité soit **3,5 fois plus chère** soit $0,0912 \times (17,5/5) = 0,3192\$/\text{kWh}$

Exercices – Les 48 collecteurs PV

- Commentaire
 - Ces tarifs ressemblent aux tarifs de la Nouvelle-Angleterre où beaucoup de PV est installé;
 - Des gens du Québec décident néanmoins d'installer du PV par conviction alors qu'ils sont reliés à HQ;
 - Des gens décident de le faire car ajouter des poteaux de Hydro-Québec pour rejoindre leur nouvelle construction devient encore plus cher que le PV;
 - Des gens décident de le faire car ajouter des poteaux de Hydro-Québec est impossible.

Exercices – Le thermostat

- Une résidence possède un chauffage central et le propriétaire maintient une consigne de 21°C à partir de 5h00 jusqu'à 8h00.
- Puis, il abaisse la température à 13°C jusqu'à 16h où il remet le chauffage à 21°C jusqu'à 22 heures où la consigne tombe à 18°C.
- Pour assurer, un confort dans sa salle de bain, il installe un radiateur supplémentaire et y maintient 23°C.

Exercices – Le thermostat

- Ce radiateur est contrôlé par un thermostat simple dont la consigne est fixe. Ainsi, dès que la porte de la salle de bain est ouverte, le radiateur de 1000W fonctionne sans arrêt pendant la période de chauffage (7 mois).
- Le propriétaire se demande si l'emploi d'un thermostat programmable qui coûte 60\$ ne serait pas rentable puisque ses enfants ne referment jamais la porte!

Exercices – Le thermostat

- Puisque la pièce est assez restreinte, il opérerait ce thermostat de la manière suivante:
 - Consigne à 23°C de 5h00 à 7h00 et de 18h00 à 20h00. Le reste du temps, consigne à 13°C (le radiateur ne fonctionnerait donc que 4 heures par jour plutôt que 24 lorsque la porte est ouverte).
- Quelle serait la PRI simple au tarif D supérieur de HQ?

Exercices – Le thermostat

- Données
 - Horaire de fonctionnement
 - Consignes de fonctionnement
 - Durée annuelle du fonctionnement, 7 mois
 - Coût du thermostat programmable
 - Puissance du radiateur qui changera de consigne, 1000 W
 - Tarif d'électricité supérieur de HQ, 0,0912 \$/kWh
- Demande
 - PRI si le radiateur de la salle de bain fonctionne moins

Exercices – Le thermostat

- Hypothèses
 - Le radiateur fonctionnait 24h/24 avant
 - Le radiateur ne fonctionnera plus que 4 heures par jour, matin et soir
- Propriétés
 - N/A
- Schéma
 - Non requis

Exercices – Le thermostat

- Analyse
 - Un radiateur de 1000 W qui fonctionnait 20 heures de plus par jour (24 h- 4h) consommait alors 20 kWh de plus chaque jour;
 - Ce sera donc une économie d'énergie de 20kWh/j;
 - Au tarif élevé HQ cela représente 1,82\$/jour;
 - Si le thermostat coûte 60\$, la PRI simple est alors de 33 jours.

Exercices – Le thermostat

- Commentaire
 - Même si les hypothèses sont assez contraignantes (l'inertie du bâtiment fut négligée), on constate sans se tromper que changer le thermostat est rentable et rapidement.
 - Cependant, il faudrait trouver une application au thermostat (fixe, le vieux) qui fonctionne encore. L'installer au sous-sol? Le donner? Il est peut-être plus efficace que les thermostats bilames encore installés dans des appartements aujourd'hui.
 - Enfin, je désirais montrer que certains projets d'efficacité énergétique sont payants même dans le contexte d'une électricité abordable.

Exercices – Les batteries

- Résumé de la densité énergétique des batteries communes
 - Une batterie Plomb : 30-50 Wh/kg
 - Une batterie Ni-Cd : 50-80 Wh/kg
 - Une batterie Ni-Mh : 60-120 Wh/kg
 - Une batterie Li-ion : 110-160 Wh/kg
 - Une batterie Li-Métal-Polymère : 100-200 Wh/kg

Exercices – Les batteries

- Comparaison
 - Quel est le rapport de densité d'énergie entre la meilleure batterie et l'essence?
 - Combien pèse (en kg) une batterie ordinaire au plomb qui peut fournir, à raison de 30 Wh/kg, la même énergie qu'un kg d'essence?



Exercices – Les batteries

- Données
 - La densité énergétique des batteries
- Demande
 - Quel est le rapport de densité d'énergie entre la meilleure batterie et l'essence?
 - Combien pèse (en kg) une batterie ordinaire au plomb qui peut fournir, à raison de 30 Wh/kg, la même énergie qu'un kg d'essence?
- Schéma
 - Non requis

Exercices – Les batteries

- Hypothèses
 - Le rendement des batteries est de 100% (faux);
 - Le rendement du moteur à combustion est de 25% (faible).
- Propriétés
 - Densité énergétique du pétrole : il y a 41 868 Tj/Mtoe (IEA);
 - Lorsque vous résolvez un problème, citez la source que vous employez, le fichier des exercices (disponible sur Moodle) renferme plusieurs autres moyens d'estimer la densité énergétique du pétrole et de ses dérivés.

Exercices – Les batteries

- Analyse

- Pour comparer des pommes avec des pommes, il faut convertir de TJ/MT en Wh/kg
- La meilleure batterie du tableau fait 200 Wh/kg
- $41\,868 \text{ [TJ/Mtoe]} = 41\,868 \text{ [MJ/toe]} = 11,63 \text{ [MWh/toe]}$
- $11,63 \text{ [MWh/toe]} / 1000 \text{ [kg/toe]} = 0,01163 \text{ MWh/kg}$
- $0,01163 \text{ MWh/kg} / [1\,000\,000 \text{ Wh/MWh}] = 11\,630 \text{ Wh/kg}$
- En unités comparables, le pétrole fait 11 630 Wh/kg
- Le rapport des deux est alors $11630 / 200 = 58 \approx \mathbf{60}$

Exercices – Les batteries

- Commentaire
 - Cependant, si on compare l'application de la voiture à essence vs la voiture électrique, il faut considérer (avec un moteur électrique et une batterie électrique à rendement de 100%) que ce rapport chute à **15** en raison du piètre rendement de combustion du moteur à combustion interne.

Exercices – Les batteries

- Analyse
 - La batterie ordinaire au plomb fait 30 Wh/kg
 - Le rapport des deux est alors $11630 / 30 = 387 \approx \mathbf{400}$

Exercices – Les batteries

- Commentaire

- Cependant, si on suit le raisonnement précédent, ce rapport chute à **100**.
- Toutefois, une voiture avec un réservoir de 60L transporte environ 48kg d'essence ou 12 kg équivalent en tenant compte du rendement.
- Ils fourniront une énergie de $12 \times 11630 \text{ Wh/kg}$ soit 139 560 Wh.
- Pour obtenir une autonomie semblable, il faudrait installer une batterie au Lithium de $139\,560 / 139 \text{ Wh/kg} \approx 1000 \text{ kg}$, ce qui fait des voitures électriques des voitures passablement lourdes.

Exercices – Les batteries

- Commentaire
 - Cependant, 139 560 Wh c'est 139 kWh
 - La batterie de la TESLA Model 3 n'est pas aussi (lourde) énergétique.
 - Selon Wiki, la grande batterie de la M3 pèse au total (Cellules, Assemblage, Systèmes, Armature) 478 kg et peut fournir 71,1 kWh ce qui indiquerait une densité d'énergie de 148 Wh/kg donc plus élevée que le chiffre employé pour arriver à 60L d'essence équivalent.
 - Mais 71 kWh \neq 139 kWh.

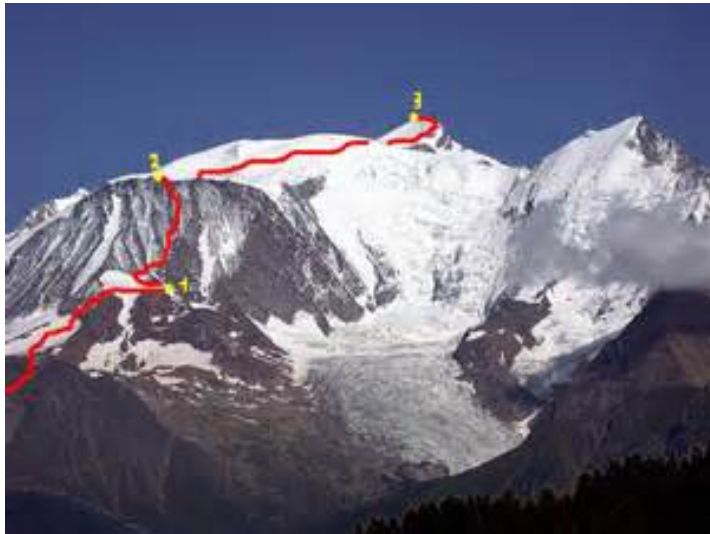
Exercices – Les batteries

- Commentaire

- La batterie la plus imposante du Modèle S pèse 600 kg et fournit 98 kWh pour une densité de 163 Wh/kg;
- Mais 98 kWh \neq 139 kWh;
- On comprend alors que pour obtenir une grande autonomie, que ce soit pour la Tesla 3 ou le Tesla S, il faut un Cx de 0,24 et du freinage régénératif qui permet de prolonger la stricte autonomie de la batterie et de rendre le moteur électrique comparable à sa contrepartie thermique en termes d'autonomie.

Exercices – L'être humain

- Pourquoi le développement économique est-il fulgurant depuis la maîtrise du pétrole?
 - Combien d'énergie faut-il à un être humain de 80 kg pour marcher de Chamonix – 1300 m – au Dôme du Goûter – 3800 m – en 10 heures s'il porte un sac à dos de 10 kg?



Exercices – L'être humain

- Données
 - Masse totale de 90kg
 - Durée de 10 heures (inutile)
 - Dénivelé de 2500
- Demande
 - Énergie dépensée pendant l'ascension
- Schéma
 - Non disponible

Exercices – L'être humain

- Hypothèse
 - On ne considère que l'énergie potentielle qui est fournie par du travail mécanique
- Propriétés
 - N/A
- Analyse
 - $E = mgh = 90 \text{ [kg]} \times 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} \times 2500 \text{ [m]} = 2207250 \text{ J}$ ou 0,61 kWh
 - Complément : puissance moyenne $0,61 \text{ kWh}/10\text{h} = 0,060\text{kW}$ ou 60W de plus que le métabolisme de base.

Exercices – L'êtré humain

- Pourquoi le développement économique est-il fulgurant depuis la maitrise du pétrole?
 - Combien coûte un ouvrier qui travaille 10 heures au salaire minimum en \$/kWh?
 - Quel est le coût d'un kWh d'essence si on utilise un rendement de combustion global de 27%?
 - Quel est le rapport entre les deux?

Exercices – L'être humain

- Analyse (je vous demande de procéder systématiquement lors des examens INTRA SVP)
 - Coût par jour de l'ouvrier (min) $12\$/h \times 10 h = 120\%$
 - Coût énergétique par jour = $120\$/0,61 \text{ kWh} \approx \mathbf{200\$/kWh}$

Exercices – L'être humain

- Analyse (je vous demande de procéder systématiquement lors des examens INTRA SVP)
 - Densité de l'essence ; 0,85 kg/L
 - Densité énergétique ; 11,63 kWh/kg
 - Coût essence ; 1\$/L
 - Coût énergétique théorique ; $1\$/L / (11,63 \times 0,85 \text{ kWh/L}) = 0,10 \text{ \$/kWh}$
 - Coût énergétique réel: $0,10 \text{ \$/kWh} / 0,27 = 0,37 \text{ \$/kWh} \approx \mathbf{0,4 \text{ \$/kWh}}$

Exercices – L'êtré humain

- Commentaire

- Il en coûte donc $200/0,4 \approx 500$ x + cher d'employer des humains pour faire un travail mécanique que d'employer des machines.
- Qu'est-ce que vous en concluez?

Exercices – Le métabolisme

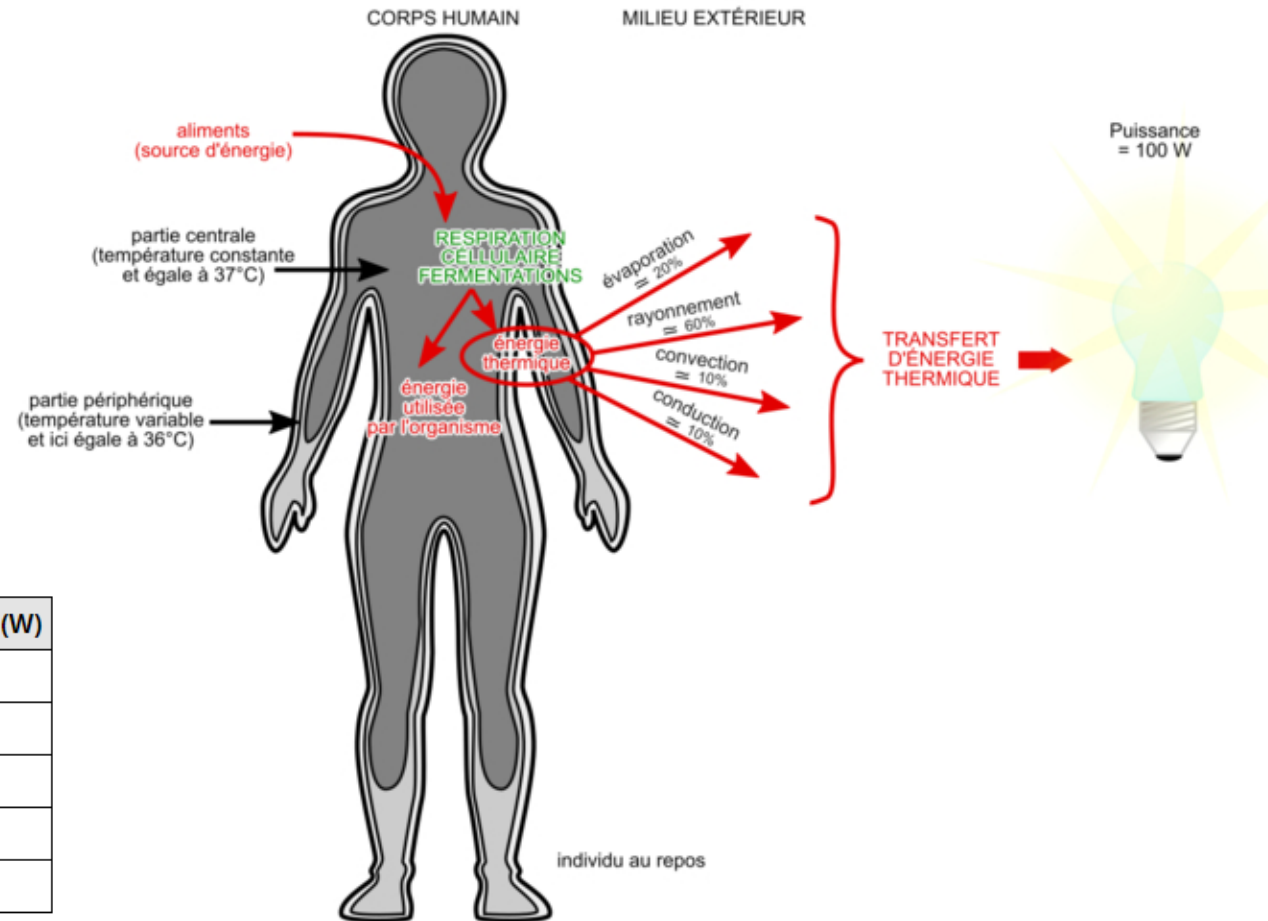
- Comparaison batterie-essence-être humain
 - Quelle est la densité d'énergie du corps humain (métabolisme de base en kJ/kg/h)?
 - Quel est le métabolisme quotidien d'un spécimen de 20 ans ayant une masse de 70 kg et une taille de 1,80m? D'une femme de 20 ans de 60 kg et une taille de 1,65m?
 - Comparez avec le marcheur de Chamonix, une batterie et un hydrocarbure

Exercices – Le métabolisme

- Données
 - La masse, la taille et l'âge d'un homme de 20 ans
 - La masse, la taille et l'âge d'une femme de 20 ans
- Demande
 - Évaluez le métabolisme
 - Faites un estimé pour les deux cas particuliers
 - Comparez avec le marcheur de Chamonix, une batterie et un hydrocarbure

Exercices – Le métabolisme

- Schéma



Activité	Puissance (W)
Au repos	80-140
Marche	200-400
Travail manuel d'intensité modéré	200-400
Travail manuel de forte intensité	400-600
Pratique d'un sport intense	600-1000

Ces valeurs sont-elles raisonnables?

Exercices – Le métabolisme

- Hypothèses

- Le métabolisme de base, ou métabolisme basal, est aussi appelé la dépense énergétique au repos.
 - On peut répartir les calories consommées au repos de la manière suivante :
 - Le fonctionnement du cerveau consomme environ 20%;
 - Le cœur qui bat 24h/24h consomme lui environ 15 à 20%;
 - Le foie fonctionnant également au repos, contribue à 15-20%;
 - Les reins et les poumons et les autres tissus consomment environ 10-15 %;
 - Les muscles représentent 20 à 25% du métabolisme de base total au repos.
- Le corps humain dégage environ 100W (80-140W) au repos, 100J/s ou 24 cal/s ou 86,1 kcal/h ou 2066 kcal/j \approx **2000 kcal/j**

Exercices – Le métabolisme

- Analyse 1
 - Le métabolisme de base, \approx **2000 kcal/j**
 - L'énergie dépensée pour atteindre le dôme du Goûter au Mt-Blanc est de 2 207 250 J ou 528 kcal \approx **500 kcal/j**
 - Ainsi, bien que gravir 2500 m à pied avec un sac de 10 kg puisse être une activité exigeante, le métabolisme de base est beaucoup plus exigeant.
 - Note, le calcul pour le Mont Blanc néglige l'énergie dépensée à simplement marcher.

Exercices – Le métabolisme

- Analyse 2

- Le métabolisme est en fait fonction du sexe, de la masse, de la taille et de l'âge. Plusieurs chercheurs proposent des formules telles que:

- Une formule potentielle du métabolisme de base :

- MB pour les femmes = $230 \times (\text{Poids}^{0.48}) \times (\text{Taille}^{0.5}) \times (\text{Âge}^{-0.13})$ [kcal]

- MB pour les hommes = $259 \times (\text{Poids}^{0.48}) \times (\text{Taille}^{0.5}) \times (\text{Âge}^{-0.13})$ [kcal]

- Pour le sujet masculin MB = $259 \times 70^{0.48} \times 1,80^{0.5} \times 20^{-0.13} \approx \mathbf{1810 \text{ kcal/j}}$

- Pour le sujet féminin MB = $238 \times 60^{0.48} \times 1,65^{0.5} \times 20^{-0.13} \approx \mathbf{1430 \text{ kcal/j}}$

- Cette formule trouvée sur un site quelconque ne possède PAS de référence.

- Sur Wiki, on trouve pour l'homme 1510 kcal/j et pour la femme 1320 kcal/j, l'exposant négatif indique une baisse avec l'âge.

Exercices – Le métabolisme

- Analyse 3

- En fait, c'est la formule de Black et al. (1996) qui est actuellement la formule de référence, en particulier dans le cas des sujets en surpoids et des personnes âgées (de plus de 60 ans) :

- Femmes : $0,963P^{0,48} \times T^{0,5} \times A^{-0,13}$ [MJ]

- Hommes : $1,083P^{0,48} \times T^{0,5} \times A^{-0,13}$ [MJ]

- Hommes MB = $1,083 \times 70^{0,48} \times 1,80^{0,5} \times 20^{-0,13} = 6,73 \text{ MJ} \approx \mathbf{1810 \text{ kcal/j}}$

- Femmes MB = $0,963 \times 70^{0,48} \times 1,80^{0,5} \times 20^{-0,13} = 5,98 \text{ MJ} \approx \mathbf{1430 \text{ kcal/j}}$

- Ces formules sont en fait identiques aux deux précédentes mais avec des constantes qui diffèrent en raison d'une conversion kcal/MJ. Donc, avec plus d'une source, il est possible de construire une « confiance » aux données trouvées.

Exercices – Le métabolisme

- Analyse 4

- Une autre formule pour effectuer le calcul du métabolisme de base fut suggérée par Harris et Benedict et recalculée par Roza et Shizgal (1984) :

- Femmes MB = $9,740P + 172,9T - 4,737A + 667,051$ [kcal]

- Hommes : MB = $13,707P + 492,3T - 6,673A + 77,607$ [kcal]

- Hommes MB = $13,70 \times 70 + 492,3 \times 1,8 - 6,673 \times 20 + 77,607 \approx \mathbf{1790 \text{ kcal/j}}$

- Femmes MB = $9,740 \times 60 + 172,9 \times 1,65 - 4,737 \times 20 + 667,051 \approx \mathbf{1440 \text{ kcal/j}}$

- Ces formules issues de recherches publiées dans des revues où les articles sont révisés sont, à priori, plus fiables que celles trouvées sur le web sans référence.

- Avec trois références distinctes, on peut commencer à se sentir en confiance.

Exercices – Le métabolisme

- Analyse 5

- Pour répondre la première question de densité énergétique en kJ/kg/h, il faut prendre le métabolisme des individus tels que calculés, convertir en kJ, diviser par la masse et par 24h/j.
 - On obtient 4,50 kJ/kg/h pour l'homme et 4,15 kJ/kg/h pour la femme (des exemples précédents), Des valeurs proches de ce qui est publié par le « Federal department of Economic Affairs ». 4 kJ/kg/h donc très près;
 - Ceci correspond à peu de chose près à la capacité d'une batterie ordinaire au plomb (30 Wh/kg/j);
 - On se compare donc tout aussi mal – d'un point de vue énergétique – à un hydrocarbure que cette encombrante batterie.

Exercices – Le marathon

- Combien d'énergie et de puissance moyenne dépense un coureur (une coureuse) de marathon?



Exercices – Le marathon

- Données: marathon = 42 195 m
- Demande : énergie et puissance moyenne en course
- Schéma: non requis
- Hypothèses :
 - Le parcours est plat
 - Le coureur coure à vitesse constante et à taux (puissance) constant
 - Le coureur coure en 2h15 minutes, 135 minutes ou 8 100s
 - La vitesse de course est alors de 5,21 m/s

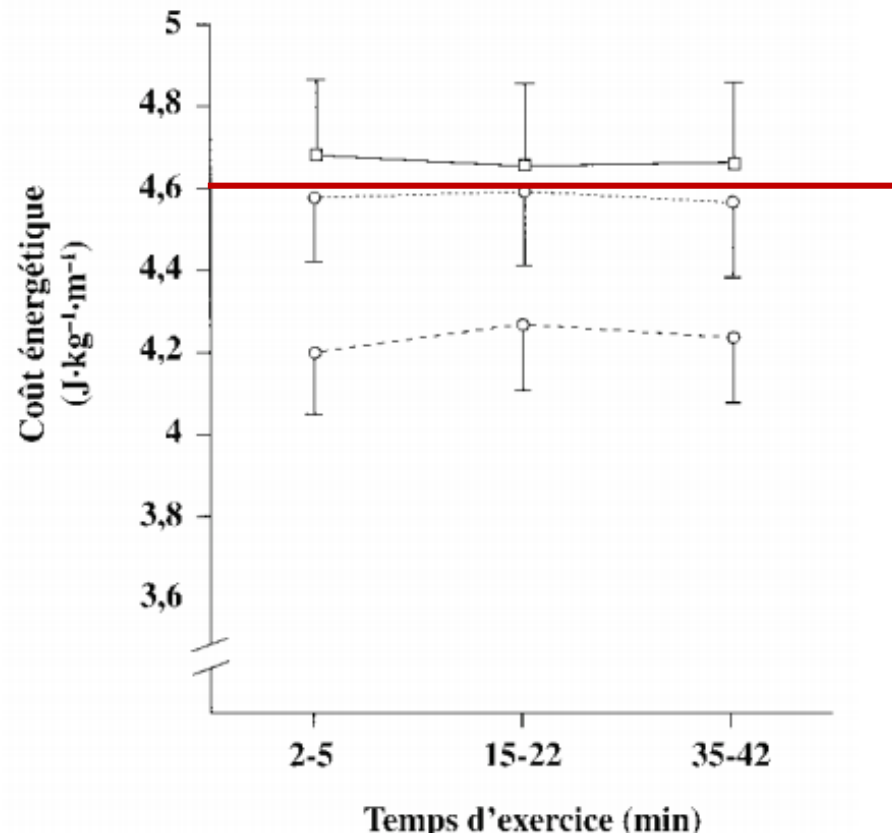
Exercices – Le marathon

- Propriétés: N/A
- Analyse : pour une course longue durée
 - di Prampero, $Cr = (VO_2 - VO_2 \text{ repos}) \cdot \text{vitesse}^{-1}$
 - où Cr est exprimé en $\text{mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, la vitesse en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, et VO_2 en $\text{mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
 - Medbf et al., $VO_2 \text{ repos} = 0,083 \text{ mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
 - di Prampero note que le pourcentage du coût énergétique consacré à lutter contre la résistance de l'air représente 7,8 % à 6 m/s (21,6 km/h), plus que 4 % à 19,8 km/h et seulement 2 % à 16,7 km/h.
 - Pugh précise que pour des vitesses de course inférieures à 15,6 km/h, les valeurs de consommation d'oxygène enregistrées en laboratoire ou sur le terrain sont assez similaires.

Exercices – Le marathon

- Analyse : pour une course longue durée
 - Hausswirth et Brisswalter, $Cr = 4,6 \text{ J/kg/m}$

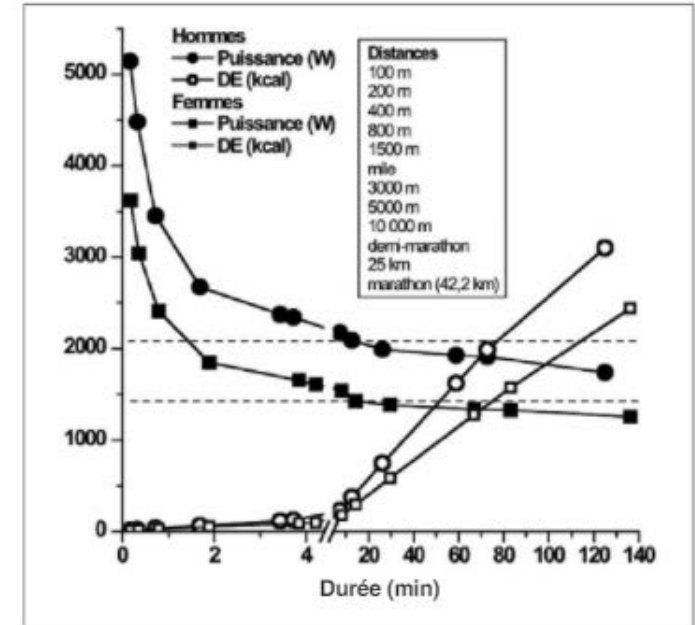
Figure 3. Variation du coût énergétique (Cr) pendant les 45 minutes de «course contrôlée» lors d'un triathlon et au cours de la phase terminale d'un marathon [39]. Du début jusqu'à la fin de l'exercice (de 2 à 42 minutes), les valeurs de coût énergétique obtenues lors du marathon et du triathlon sont significativement supérieures à celles obtenues lors de la course contrôlée ($p < 0,01$). De plus, chaque valeur obtenue lors du marathon est significativement plus élevée à celles enregistrées lors du triathlon ($p < 0,01$). □ Marathon; ---○--- triathlon; ---○--- course contrôlée.



Exercices – Le marathon

- Analyse : pour une course longue durée
 - $Cr = 4,6 \text{ J/kg/m}$, avec $m = 70\text{kg}$ et $D = 42\,195$
 - $Cr = 4,6 \times 70 \times 42\,195 = 13\,586\,790 \text{ J} = 3\,250 \text{ kcal}$
 - Cette énergie vraisemblablement dépensée sur une période de 8100s donnerait une puissance moyenne de **1677 W**, ce qui semble impossible à tenir pour un humain, surtout sur une aussi longue période.
 - Candau et al. (1998) ont plutôt suggéré une relation de type $Cr = 2,36 \text{ J/kg/m}$ et ceci donnerait **911 W** sur un 10 km couru à 5,52m/s, ce qui ne semble pas possible non plus selon, Jenny&Jenny (2020).

Autre étude basée sur di Prampero



Exercices – Le marathon

- Analyse : pour une course longue durée
 - Jenny & Jenny, Journal of biomechanics, 110(2020) 109948 proposent un modèle plus complet qui tient compte de plusieurs autres facteurs;
 - L'intérêt ici n'est pas d'étudier cette publication mais d'obtenir un estimé valable de la dépense énergétique d'un coureur

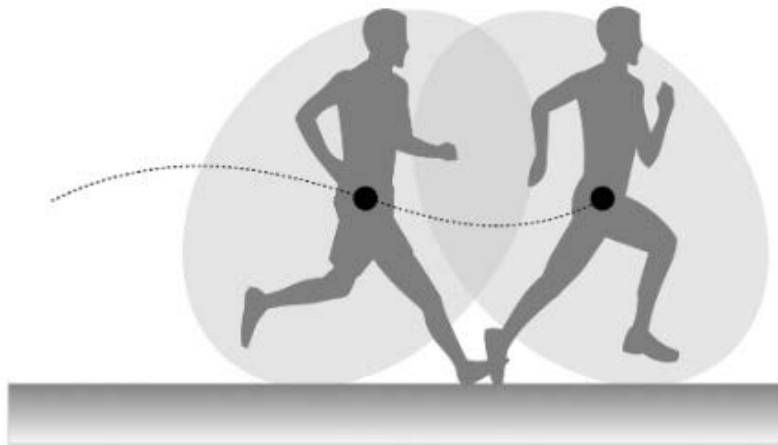
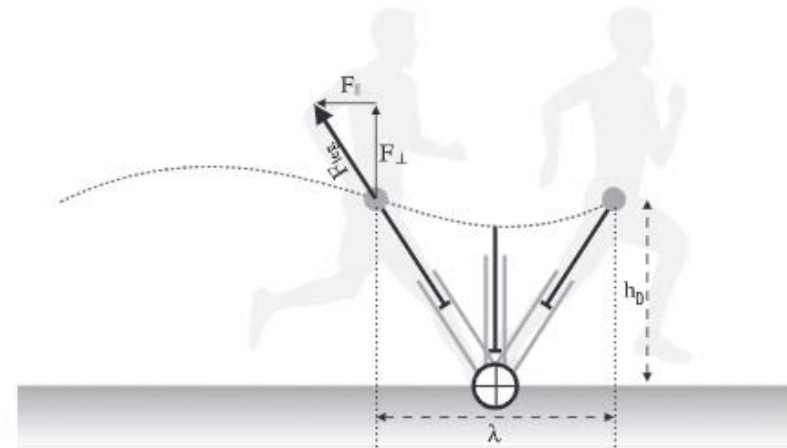


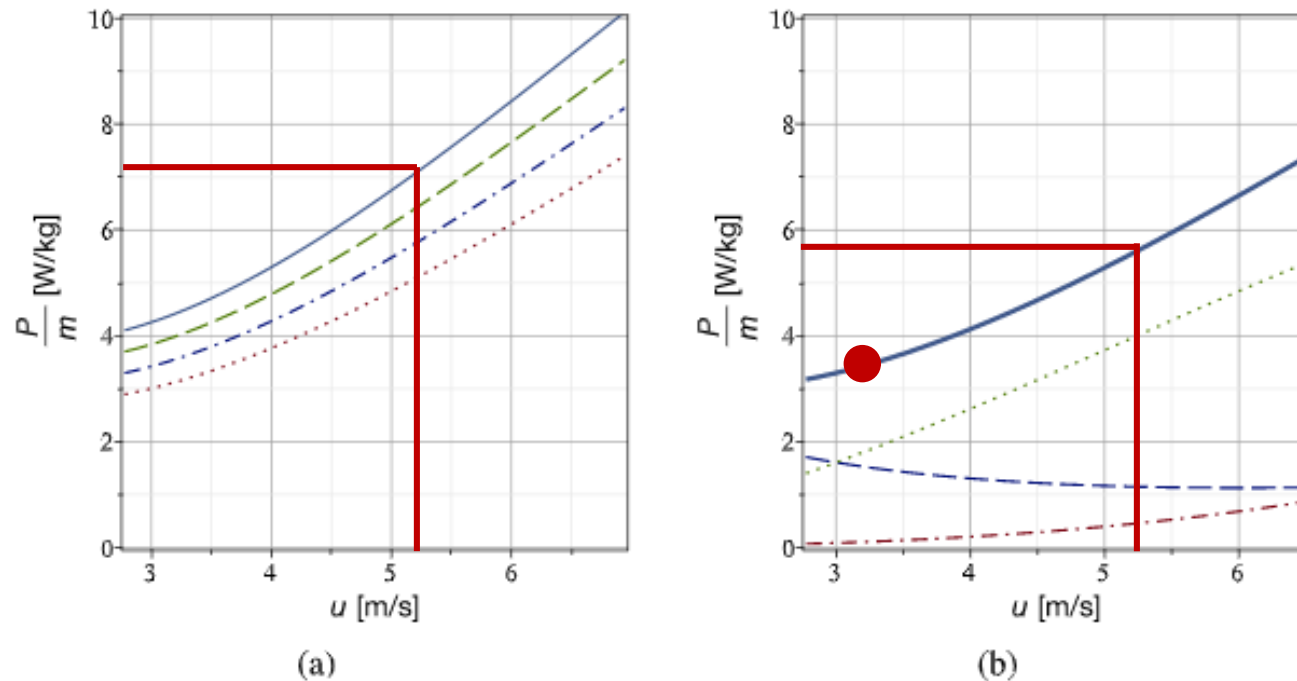
Fig. 3. Illustration of a runner at beginning and end of a stance phase together with the corresponding rolling body and the COM-trajectory.



Exercices – Le marathon

- Analyse : pour une course longue durée

Pour ma part, je ne peux faire mieux que 250 W pendant 2 heures, environ.



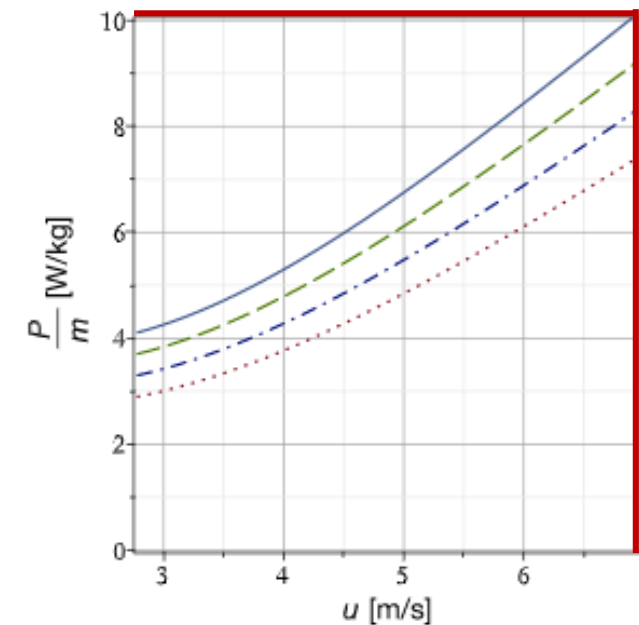
Dans le pire des cas, le coureur de marathon de 70 kg dépense 400-420W de puissance mécanique, avec $\alpha = 0,23$.

α est le facteur de récupération de l'énergie lors du freinage et des oscillations.
 Il ne devrait jamais être nul.

Fig. 6. Required mechanical power output per mass as a function of running speed for a runner with $m = 70$ kg and a height of 1.76 m ($\rightarrow h_0 = 0.88$ m). Step rate and ground contact length are obtained from Eqs. (20) and (21), respectively, and $\gamma = 0.013 \text{ m}^2 \text{kg}^{-2/3}$. On the left P/m is shown for $\alpha \in \{0, 0.1, 0.2, 0.3\}$ (solid, dashed, dash-dotted and dotted lines, respectively). The bold line on the right shows specific mechanical power output for $\alpha = 0.23$. The dashed, dash-dotted and dotted lines in the right plot show the contributions required to compensate dissipation due to vertical oscillation, aerodynamic drag and braking, respectively.

Exercices – Le marathon

- Analyse : pour une dépense énergétique de 700W
 - Même avec une vitesse de 7 m/s (25,2 km/h), $P/m = 10$ et sans récupération, $\alpha = 0$, un coureur de 70 kg dépenserait alors **700W**.
 - Le record du monde au 5 000m est de 12:37,55 (757,55s) soit une vitesse moyenne de 6,6 m/s
 - Le record du monde au 3 000m est de 7:20,67 (440,67s) soit une vitesse moyenne de 6,8 m/s
 - Le record du monde au 1 500m est de 3:26,00 (206s) soit une vitesse moyenne de **7,3 m/s** ce qui excède les limites du graphique ci-contre

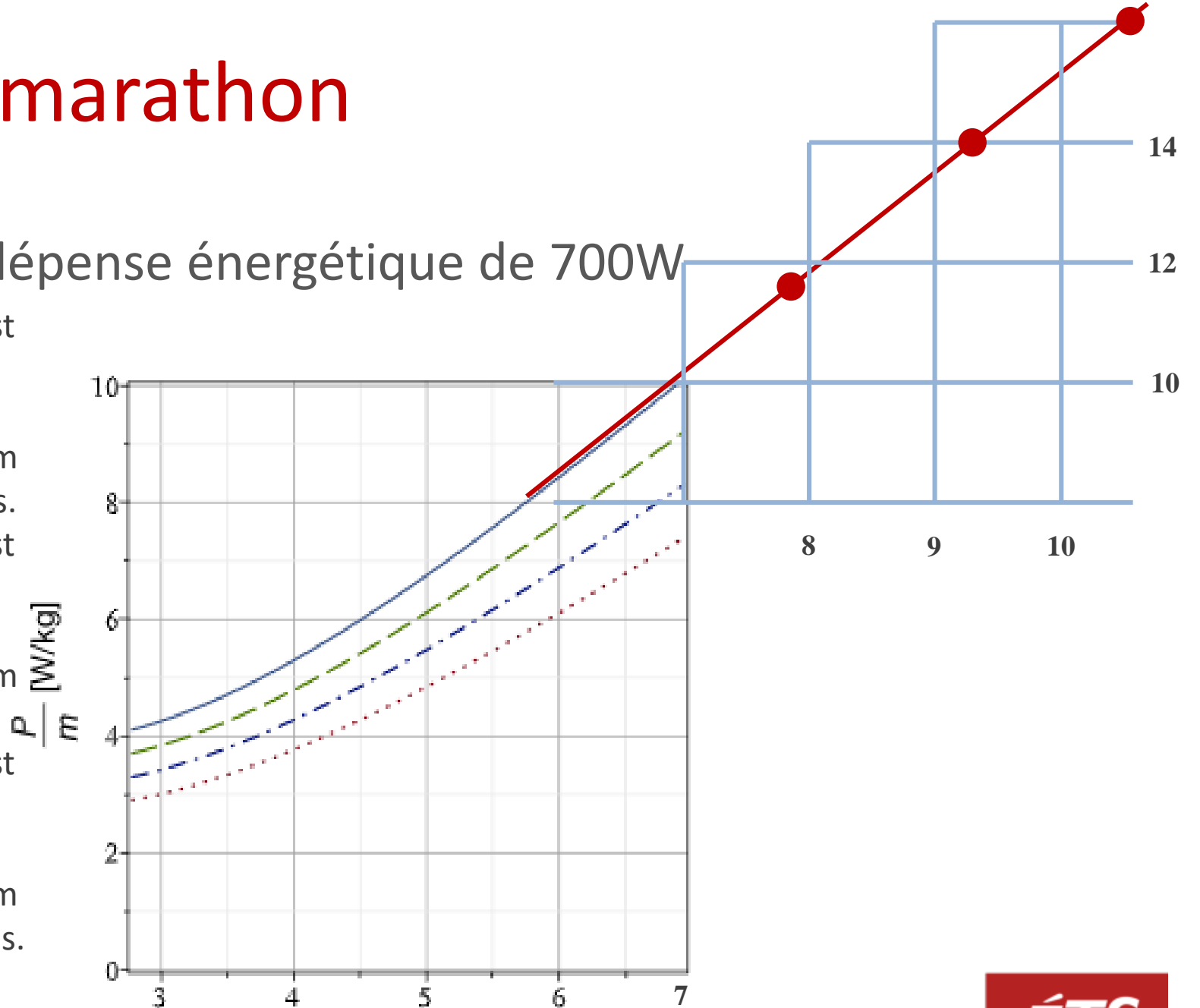


(a)

Donc, un coureur de 1 500 de 70 kg dépense en moyenne un peu plus de 700 W pendant 3 ½ minutes.

Exercices – Le marathon

- Analyse : pour une dépense énergétique de 700W
- Le record du monde au 800m est de 1:40,91 (100,91s) soit une vitesse moyenne de 7,9 m/s
- Ici on extrapole pour obtenir P/m $\approx 11,9$ et **850W** environ sur 100s.
- Le record du monde au 400m est de 43,03s soit une vitesse moyenne de 9,3 m/s.
- Ici on extrapole pour obtenir P/m $\approx 14,0$ et **980W** environ sur 43s.
- Le record du monde au 100m est de 9,58s soit une vitesse moyenne de 10,4 m/s.
- Ici on extrapole pour obtenir P/m $\approx 16,0$ et **1120W** environ sur 10 s.



Exercices – Le marathon

- Commentaires
 - Il faut toujours confronter plusieurs documents pour juger de la véracité d'une information, d'un résultat, d'une donnée.
 - On trouve des publications qui permettent de penser que l'humain pourrait développer plus de 5000 W sur 100 m en 10s.



Exercices – Le marathon

- Autre question
 - Quelle est la puissance requise pour rouler (à plat et sans vent) à 40km/h pendant 45 minutes avec un vélo de course de 9 kg si votre propre poids est de 70 kg?
 - Est-ce que ce site propose un estimé correct?
 - <http://bikecalculator.com/>

Power:	373	watts	Velocity:	40.00	kph / mph
BIKE CALCULATOR					
Units:	Metric ▾				
Rider weight:	70	kg / lbs			
Bicycle weight:	9	kg / lbs			
Tires:	Clinchers ▾				
Position:	Hoods ▾				
Grade:	0	%			
Head wind:	0	kph / mph			
Distance:	30	km / mi			
Temperature:	25	C / F			
Elevation:	100	m / ft			
Other Predictions: (entering a value will change distance to match)					
Time:	45.00	minutes			
Calories:	4028	kJ / calories			
Weight loss:	0.12	kg / lbs			

Exercices – Le marathon

- Autre questions
 - Seriez-vous capable de fournir l'énergie requise pour faire cuire une « toast »?
 - Combien d'humains sont requis pour faire griller une tranche de pain?



Robert Förstemann tranche la question!

<https://www.youtube.com/watch?v=S4O5voOCgAQ>

Exercices – Le marathon

- Commentaires
 - Une capsule complète intitulée :
Énergie humaine sera en construction bientôt.
Je vous invite à la développer...

Exercices - Noël

- Quelle est la charge du réseau d'Hydro-Québec lorsque les sapins de Noël extérieurs sont allumés?



- Combien de maisons pourrait-on chauffer en hiver avec une telle puissance?

Exercices - Noël

- Données : aucune, un vrai problème
- Demande:
 - Quelle est la charge du réseau d'Hydro-Québec lorsque les sapins de Noël extérieurs sont allumés?
 - Combien de maisons pourrait-on chauffer en hiver avec une telle puissance?
- Schéma:
 - Est-ce vraiment requis??

Exercices - Noël

- Hypothèses:
 - Il y a 1 million de sapins éclairés au Québec
 - Chaque sapin comporte 100 ampoules
 - Chaque ampoule consomme un W
 - Une maison a une puissance de chauffage installée de 20 kW
 - Un appartement a une puissance installée de 10 kW
 - Une passivehaus de 100 m² (certifiée PHI) a une puissance de 10W/m² x 100 m² = 1kW

Exercices - Noël

- Analyse:
 - LA puissance consommée par les sapins est de $1\text{MSapins} \times 100 \text{ amp/sapin} \times 1\text{W/amp} \approx 100 \text{ MW}$
 - Nombre maison $\approx 100\,000 \text{ kW} / 20 \text{ kW} \approx 5000$ maisons
 - Nombre appartement $\approx 100\,000 \text{ kW} / 10 \text{ kW} \approx 10\,000$ apparts
 - Nombre passivhaus $\approx 100\,000 \text{ kW} / 1 \text{ kW} \approx 100\,000$ passivhaus

Exercices - Noël

- Commentaire:
 - Croyez-vous qu'il vaut mieux :
 - Construire des barrages et des éoliennes?
 - Construire des passivhaus et rénover le parc immobilier existant?
 - Pourquoi HQ achète de l'électricité en hiver, en période de pointe, alors que les sapins brillent de tous leurs feux plus de 6 heures par soirée, certains toute la nuit et d'autres encore 24/24 jusqu'à mars?

Exercices – Votre habitation

- Combien d'énergie consomme votre habitation?
 - Combien d'énergie électrique consomme votre habitation?
 - De cette énergie combien va en chauffage?
 - Quels sont les coûts d'électricité totaux et les coûts de chauffage?

Exercices – Votre habitation

- Combien d'énergie consomme votre habitation?
 - Si votre chauffage était au fioul (diesel), combien de litre de fioul seraient requis pour combler vos besoins de chauffage?



Exercices – Votre habitation

- Combien d'énergie consomme votre habitation?
 - Si votre chauffage était au gaz naturel, combien de m³ de gaz seraient requis pour combler vos besoins de chauffage?

Exercices – Votre habitation

- Combien de panneaux solaires allez-vous installer sur votre habitation?
 - Supposez: Charge électrique maximale de 30 kW sur une période de 6 heures en hiver (le pire scénario)
 - Rendement net des panneaux PV de 12%
 - Flux solaire de 600 W/m² pendant 5 heures (au mieux en hiver)
 - Les panneaux ont une surface de 2 m² chacun.



Merci de votre attention !

Si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

Période de questions

