Technologies de l'énergie et efficacité énergétique
Technologies of energy and energy efficiency
Tecnología de la energia y eficiencia energetica

Groupe de recherche industrielle
Industrial Research Group
Grupo de Investigación Industrial

Université du Québec
École de technologie supérieure

www.t3e.info

Groupe de recherche industrielle
Industrial Research Group
Grupo de Investigación Industrial

Le génie pour l'industrie

Les projets FRQNT - Développement durable du secteur minier du Groupe t3e

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.
Directeur, Groupe t3e
Directeur, Maitrise en efficacité énergétique et énergies renouvelables
Professeur, Département de génie mécanique
École de technologie supérieure

Montréal, 10 avril 2017

???

Technologies de l'énergie et efficacité énergétique

Technologies of energy and energy efficiency

Tecnología de la energia y eficiencia energetica

• Plan de la présentation

- ❖ Potentiel des systèmes énergétiques hybrides éolien-diesel-air comprimé pour les sites miniers - SHEDAC
- ❖ Augmentation de l'efficacité énergétique des locomotives en optimisant la charge thermique et pneumatique - LOCOMOTIV
- ❖ Communauté minière nordique Net-Zéro – CMN-NZ

Projet SHEDAC

- ÉQUIPE Potentiel des systèmes énergétiques hybrides éolien-diesel-air comprimé pour les sites miniers - SHEDAC
  - Daniel R. Rousse, ÉTS, CHU R
  - Adrian Ilinca, UQAR, CHU
  - Ambrish Chandra, ÉTS, CHU
  - Hussein Ibrahim, TechnoCentreÉolien, CHC
  - Drishtysingh Ramdenee, ITMI, CHC
  - Orlando Cordova, Transport Ferroviaire Tshiuetin inc.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Projet SHEDAC

- OBJECTIFS:
  - Le but du projet consiste à valider l'implantation d'un **système de production énergétique hybride** permettant de réduire la consommation de carburant lourd actuelle tout en augmentant la production électrique d'un camp minier de 50% (une réduction d'émissions de CO_2 de 575t/an).

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Projet SHEDAC

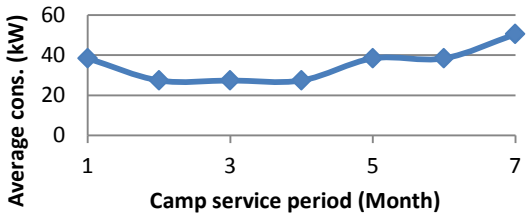
- OBJECTIFS:

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Projet SHEDAC

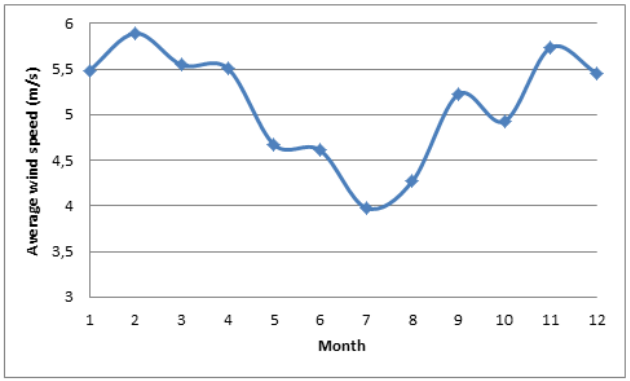
- Résultats:
  - Confection et prédiction du profil de consommation
  - Étude du potentiel éolien
  - Rationalisation de la charge

≈60 kW max



≈90 kW max. à venir

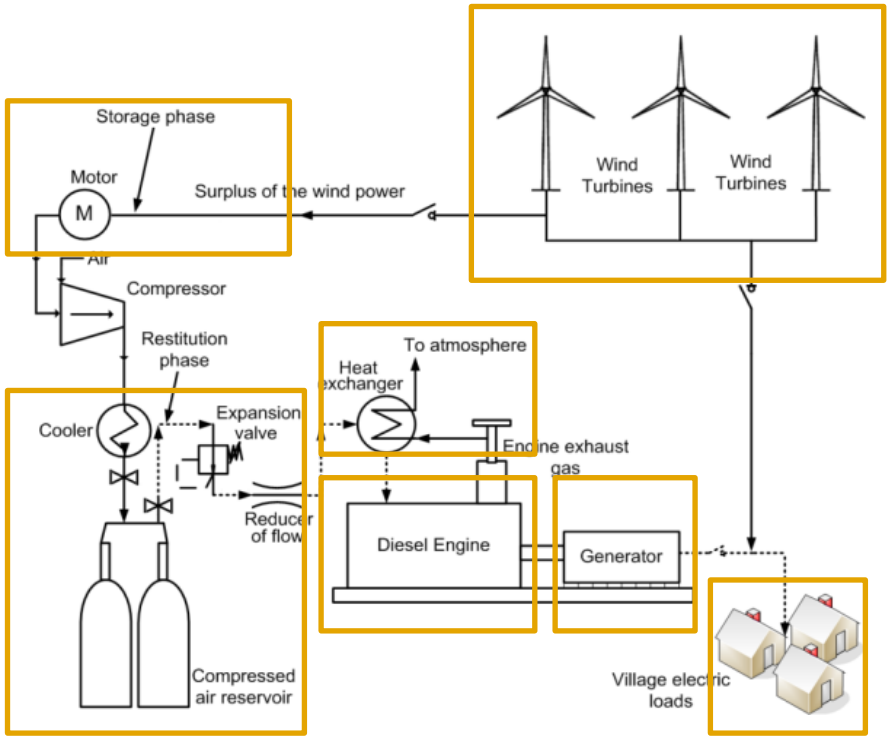
Potentiel faible, seuil : 7,5 m/s



Characteristics	New profile	Current profile
Ave. consumption	25,36 kW	35,36 kW
Peak consumption	47, 70 kW	57,70 kW
Min. consumption	13,80 kW	23,80 kW

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

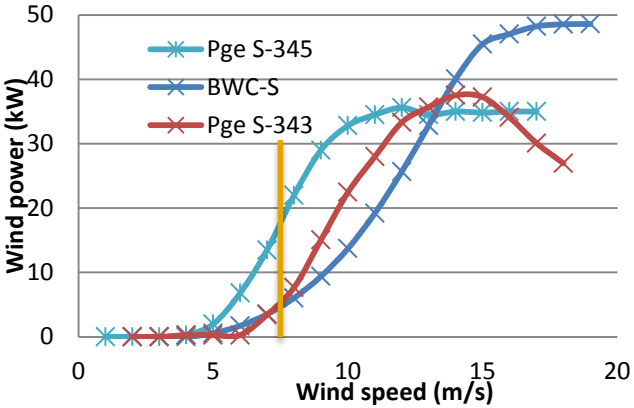
- Résultats:
  - Système SHEDAC



Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

- Résultats:
  - Système SHEDAC
    - Choix de la turbine : taux de pénétration de 65%, cible

Wind turbine model (nominal capacity)	Number	Total power
Bergey BWC-S (10 kW)	4	40 kW
Endurance PGE-S343 (5 kW)	7	35 kW
Endurance PGE-S345 (35 kW)	1	35 kW



Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

- Résultats:
  - Système SHEDAC
    - Choix du générateur diesel : modèle existant et deux autres types

Generator model (nominal capacity)	Number	Total power
Cummins D-160 (150 kW)	1	150 kW
Caterpillar D13-2 (12 kW)	4	48 kW
Caterpillar D30-8 (27 kW)	2	54 kW

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

- Résultats:
  - Système SHEDAC
    - Choix du stockage :
      - la pression affecte le volume de stockage qui est un élément essentiel important dans la conception et l'installation d'un SHEDAC dans une zone éloignée.
      - le choix d'un système de stockage est basé sur un certain nombre de paramètres tels que : le nombre d'étages, l'efficacité polytropique, la performance du moteur du compresseur, la température de stockage et la puissance du compresseur.

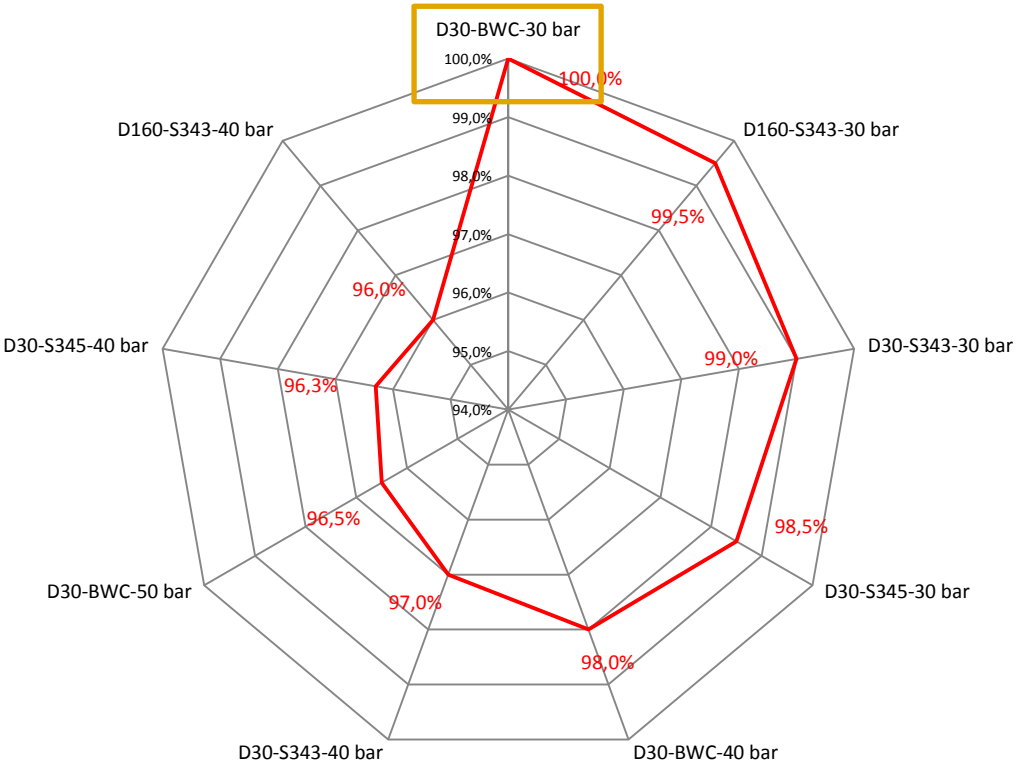
Characteristics	Values
Number of stages	5
Storage pressure	30, 40 or 50 bars
Polytropic efficiency	80%
Motor efficiency	90%
Storage temperature	20°C
Compressor power	5 kW

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

- Résultats:
  - Système SHEDAC
    - Critères de choix
      - Économie de carburant ;
      - Capacité de stockage ;
      - Distribution d'énergie ;
      - Impact de la défaillance d'un générateur diesel;
      - Impact de la défaillance d'une éolienne;
      - Énergie dissipée;
      - Complexité de l'installation.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

- Résultats:
  - Système SHEDAC
    - Configuration optimale:



Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Projet SHEDAC

- Résultats:
  - Système SHEDAC
    - La configuration optimale est le SHEDAC utilisant :
      - deux générateurs Caterpillar de 27 kW,
      - quatre éoliennes Bergey de 10 kW ;
      - un système de stockage avec une pression de stockage de 30 bars.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Projet SHEDAC

- Solutions proposées:
  - Statu quo ou BAU: utiliser une génératrice diesel de 150kW mais rationaliser la charge
    - Avantages:
      - Le confort que procure toujours un scénario statu quo. Le changement de paradigme est douloureux dans toutes les organisations;
      - Le fait que la capacité de la génératrice actuelle permet de presque tripler la taille du camp sans changements requis dans l'infrastructure de production énergétique ni dans les habitudes de consommation des occupants;
      - Le fait que cette solution ne requiert aucun système de contrôle sophistiquée, la génératrice s'adapte en continu à la charge;
      - L'absence d'investissement en infrastructure requis;
      - L'absence d'investissement en formation de main d'œuvre et de protocole d'opération et de maintenance nouveau requis.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

- Solutions proposées:
  - Statu quo ou BAU
    - Désavantages:
      - L'absence de redondance du système actuel qui menace la sécurité du camp. L'infrastructure exposée à une température de moins 20°C refroidirait rapidement et pourrait mettre la vie des occupants en péril.
      - Le déséquilibre entre charge (60kW max) et capacité (150kW) – le générateur est presque constamment employé sous 30 % de la charge nominale (50kW), c'est un non-sens – qui entraîne :
        - » un risque très élevé de défaillance de l'appareil (avec les conséquences indiquées plus haut);
        - » une détérioration prématurée de l'équipement que l'on devra remplacer très tôt;
        - » une consommation très élevée par kW de puissance produite;
        - » un besoin d'entretien plus fréquent ce qui augmente les coûts d'exploitation;
        - » des émissions de GES beaucoup plus importantes que si l'équipement opérait à plus haute charge.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Projet SHEDAC

- Solutions proposées:
  - Des génératrices diesel : Dans ce scénario, Tshiuetin remplace son générateur de 150kW (et le vend) pour le remplacer par trois générateurs Caterpillar de 27 kW et un générateur de 12 kW .
    - Avantages:
      - la présence de redondance qui évite une opération de sauvetage en cas de panne;
      - une opération optimale des appareils à au moins toujours 70 % de leur charge nominale;
      - une vie utile prolongée, une consommation optimale, un entretien minimal, des émissions minimales.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Projet SHEDAC

- Solutions proposées:
  - Des génératrices diesel
    - Désavantages:
      - aucune pénétration de l'énergie renouvelable;
      - le besoin d'un algorithme de gestion un peu plus complexe que précédemment;
      - un investissement pour compenser la différence entre l'achat et la vente.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Projet SHEDAC

- Solutions proposées:
  - Une solution hybride : Dans ce scénario, Tshiuetin remplace son générateur de 150kW (et le vend) pour le remplacer par le système SHEDAC conçu à cet effet.
    - Avantages:
      - un haut taux de pénétration de l'éolien, 65 %;
      - la présence de redondance qui évite une opération de sauvetage en cas de panne;
      - un impact environnemental divisé par près de trois;
      - une opération optimale des appareils à au moins toujours 70 % de leur charge nominale;
      - une vie utile prolongée, une consommation optimale, un entretien minimal.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

- Solutions proposées:
  - Une solution hybride
    - Désavantages:
      - le coût d'achat, d'installation des éoliennes est plus élevé que celui des générateurs de 27 et 12 kW du scénario 2;
      - le besoin en formation de personnel.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Projet SHEDAC

- Retombées scientifiques
  - 1 Ph.D.
  - 4 Maitrises
  - 4 articles (toujours en cours de publication)
  - 3 articles (en rédaction)
  - 7 conférences

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

• Plan de la présentation

- ❖ Potentiel des systèmes énergétiques hybrides éolien-diesel-air comprimé pour les sites miniers - SHEDAC
- ❖ Augmentation de l'efficacité énergétique des locomotives en optimisant la charge thermique et pneumatique - LOCOMOTIV
- ❖ Communauté minière nordique Net-Zéro – CMN-NZ

Projet LOCOMOTIV

- ÉQUIPE Augmentation de l'efficacité énergétique des locomotives en optimisant la charge thermique et pneumatique - LOCOMOTIV
  - Adrian Ilinca, UQAR, CHU R
  - Daniel R. Rousse, ÉTS, CHU
  - Ambrish Chandra, ÉTS, CHU
  - Hussein Ibrahim, TechnoCentreÉolien, CHC
  - Drishtysingh Ramdenee, ITMI, CHC
  - Orlando Cordova, Transport Ferroviaire Tshiuetin inc.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Projet LOCOMOTIV

- OBJECTIFS:
  - L’objectif principal de ce projet est
    - d’améliorer l’efficacité énergétique,
    - diminuer la consommation de combustible,
    - diminuer les frais d’opération,
    - diminuer les émissions de GES
    - augmenter la sécurité en situation d’urgence dans le transport ferroviaire minier.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

- MÉTHODOLOGIE:
  - L’atteinte de cet objectif est réalisée par
    - la récupération de l’énergie de freinage des trains,
    - l’hybridation pneumatique,
    - l’opération en conditions optimales d’efficacité des locomotives, combinées avec le stockage de chaleur et d’air comprimé.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

- OBJETS D'ÉTUDES:
  - Les principaux objets d'étude dans ce projet sont :
    - l'hybridation pneumatique des moteurs diesel,
    - le stockage d'air comprimé,
    - le stockage de chaleur.

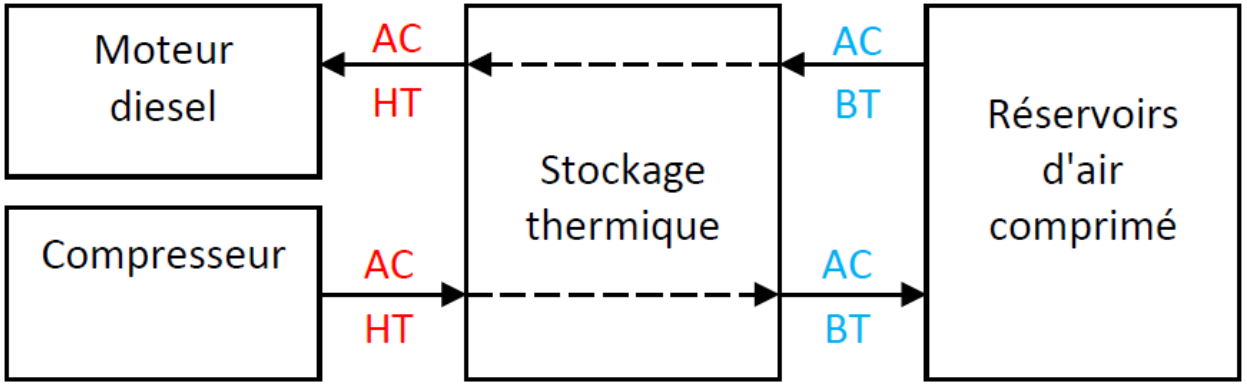
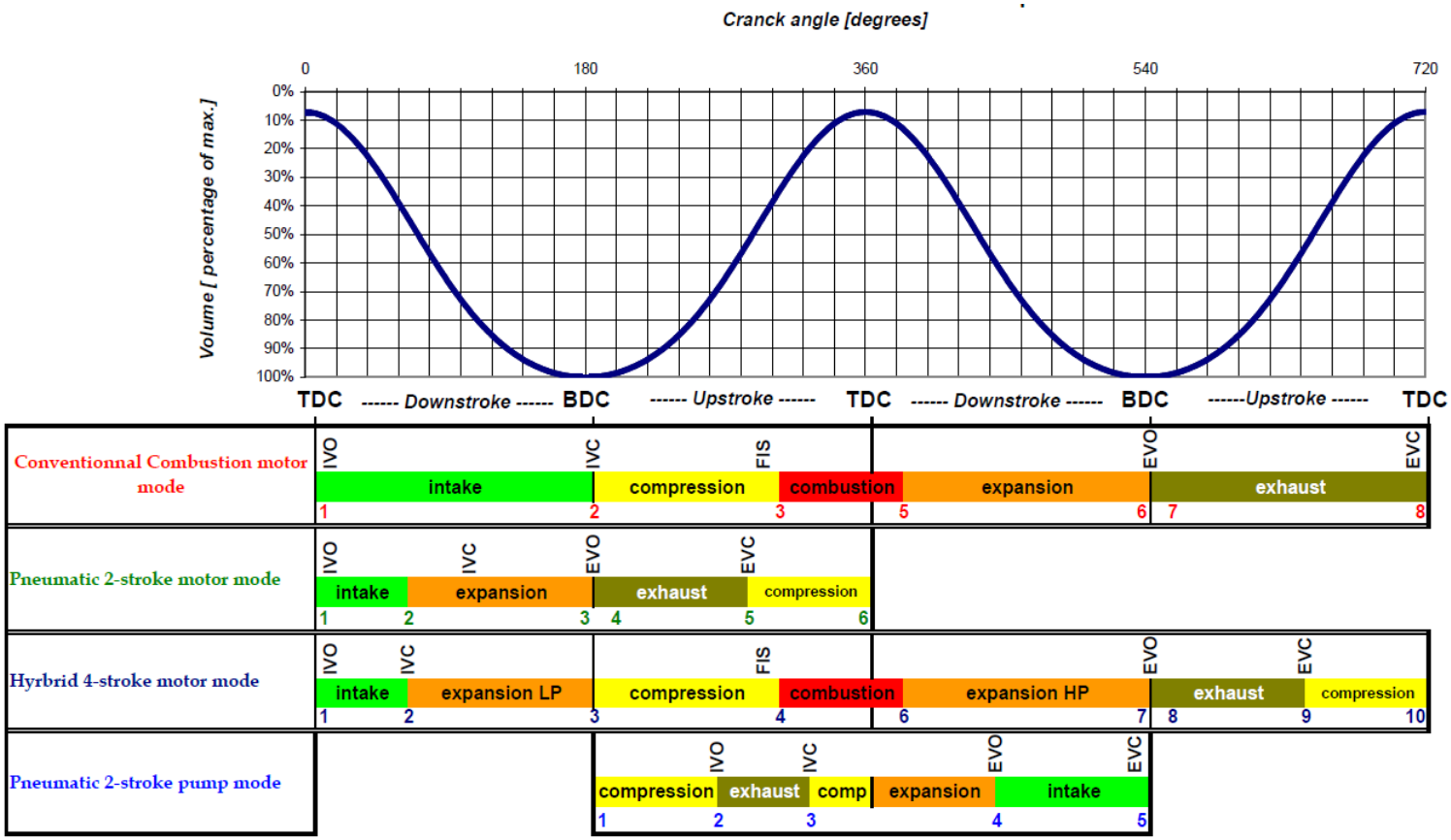


Schéma des échanges et de stockage thermique (AC - air comprimé; HT - haute température; BT - basse température)

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

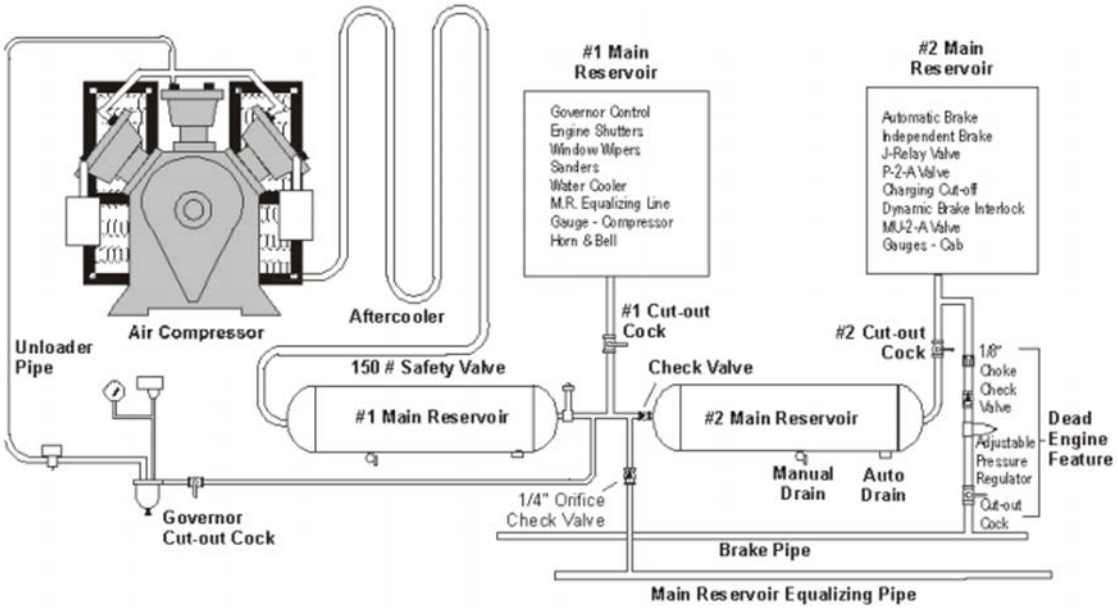
- Opération du moteur de locomotive selon 4 cycles thermodynamiques différents permettant d'optimiser la récupération d'énergie



Détail des cycles thermodynamiques rencontrés lors de l'opération du moteur diesel en mode d'hybridation pneumatique

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

- Intégration de l'hybridation pneumatique aux systèmes énergétiques de la locomotive:
  - Systèmes de freinage, d'air comprimé, d'alimentation électrique auxiliaire, de réserves d'énergie en situations d'urgence, etc.



Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

• Plan de la présentation

- ❖ Potentiel des systèmes énergétiques hybrides éolien-diesel-air comprimé pour les sites miniers - SHEDAC
- ❖ Augmentation de l'efficacité énergétique des locomotives en optimisant la charge thermique et pneumatique - LOCOMOTIV
- ❖ Communauté minière nordique Net-Zéro – CMN-NZ

Projet CMN-NZ

- ÉQUIPE Communauté minière nordique Net-Zéro – CMN-NZ
  - Daniel R. Rousse, ÉTS, CHU R
  - Adrian Ilinca, UQAR, CHU
  - Kodjo Agbossou, UQTR, CHU
  - Ambrish Chandra, ÉTS, CHU
  - Ricardo Zednik, ÉTS, CHU
  - Didier Haillot, ÉTS/UPPA, CH
  - Hussein Ibrahim, ITMI, CHC
  - Drishtysingh Ramdenee, ITMI, CHC
  - Nicolas Seguin, TUGLIQ Énergie

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Projet CMN-NZ

- OBJECTIFS:
  - Le but du projet consiste à :
    - concevoir et implanter une solution adaptative à la gestion intelligente de l'énergie hors-réseau en intégrant des solutions innovantes pour :
      - la production (énergie éolienne, énergie solaire, petit hydro),
      - la récupération (échangeurs),
      - et le stockage d'énergie (chimique, électrique, thermique, air comprimé).
    - concevoir les unités d'habitation novatrices destinées à être alimentées par ce système énergétique.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Projet CMN-NZ

- PROJETS EN COURS:
  - Note: Le projet débutait en janvier 2017
  - Conception d'une unité de production d'énergie thermique à partir de biomasse pour les régions nordiques
    - Développer une unité de production d'énergie thermique (1MW-5MW) alimentée par de la biomasse dans le cadre de la conception d'habitations à consommation proche du net-zéro dans les régions nordiques.
  - Autres projets en recrutement

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

- **Plan de la présentation**
  - ❖ CONCLUSIONS

Conclusion

- Impact :
  - Beaucoup à faire en termes d'optimisation énergétique dans le Nord
- Difficulté :
  - Considérer l'aspect humain d'abord
  - Obtenir de l'information
  - Changer les paradigmes
- A venir :
  - Études des moyens de production
  - Études des potentiels de récupération

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Conclusion

- Avenir de la transition énergétique :
  - Les enjeux de la transition énergétique à venir au cours de ce siècle **vont bien au-delà** des questions portant sur les sources d'énergie renouvelables, le stockage, la conservation, la conversion ou l'efficacité énergétique comme questions technologiques et économiques.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Conclusion

- Avenir de la transition énergétique :
  - Ces enjeux impliquent non pas en filigrane, **mais au premier plan**, les questions politiques, de stratégies de développement territoriales, de pratiques et d'acceptabilité sociales, de représentations collectives.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Conclusion

- Avenir de la transition énergétique :
  - Par leur formation, les enseignants universitaires en énergie sont portés à croire que les aspects déterminants du développement du secteur énergétique seront scientifiques :
    - ceux qui œuvrent en technologie précisent ces enjeux en prédisant qu'ils seront technologiques;
    - alors que les spécialistes de l'énergie des Facultés ou départements d'économies croient pour leur part qu'ils seront économiques.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Conclusion

- Avenir de la transition énergétique :
  - Il existe ainsi un paradigme actuellement fort chez les décideurs selon lequel les **sciences et techniques de l'ingénieur et de l'économie** seront les disciplines prépondérantes de la transition;
  - C'est est un leurre, ce paradigme masque la réalité;
  - On réalise peu à peu que **les aspects humains** de la question sont **au cœur de l'appropriation** des technologies de l'énergie.

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Merci de votre attention !

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.

Période de questions

Le Groupe t3e remercie M. Michel Trottier pour son soutien exceptionnel.