

## 6. Aspects électriques des éoliennes

### 6.2 Les connexions des machines



Hussein Ibrahim, Ph.D. - Antoine Brégaint, M.Sc.A.

# Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Composantes électriques dans la tour et dans la nacelle
- Schéma électrique d'une éolienne
- Connexion des machines asynchrones au réseau
- Connexion des machines synchrones au réseau
- Les technologies utilisées par les grands constructeurs
- Problématiques de la connexion au réseau
- Les éoliennes autonomes
- Contraintes rencontrées en milieu nordique
- Conclusion

# Plan de cette présentation

- ***Introduction et objectifs***
- Composantes électriques dans la tour et dans la nacelle
- Schéma électrique d'une éolienne
- Connexion des machines asynchrones au réseau
- Connexion des machines synchrones au réseau
- Les technologies utilisées par les grands constructeurs
- Problématiques de la connexion au réseau
- Les éoliennes autonomes
- Contraintes rencontrées en milieu nordique
- Conclusion

# Introduction et objectifs

- Une fois la puissance électrique obtenue, il reste à connecter l'éolienne au réseau électrique.
- Les méthodes de connexion sont diverses et dépendent notamment des générateurs électriques utilisés.
- Les différents constructeurs d'éoliennes n'utilisent pas les mêmes moyens de connexion. Les méthodologies des plus grands constructeurs sont étudiées dans cette présentation.

# Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- ***Composantes électriques dans la tour et dans la nacelle***
- Schéma électrique d'une éolienne
- Connexion des machines asynchrones au réseau
- Connexion des machines synchrones au réseau
- Les technologies utilisées par les grands constructeurs
- Problématiques de la connexion au réseau
- Les éoliennes autonomes
- Contraintes rencontrées en milieu nordique
- Conclusion

# Composantes électriques dans la tour

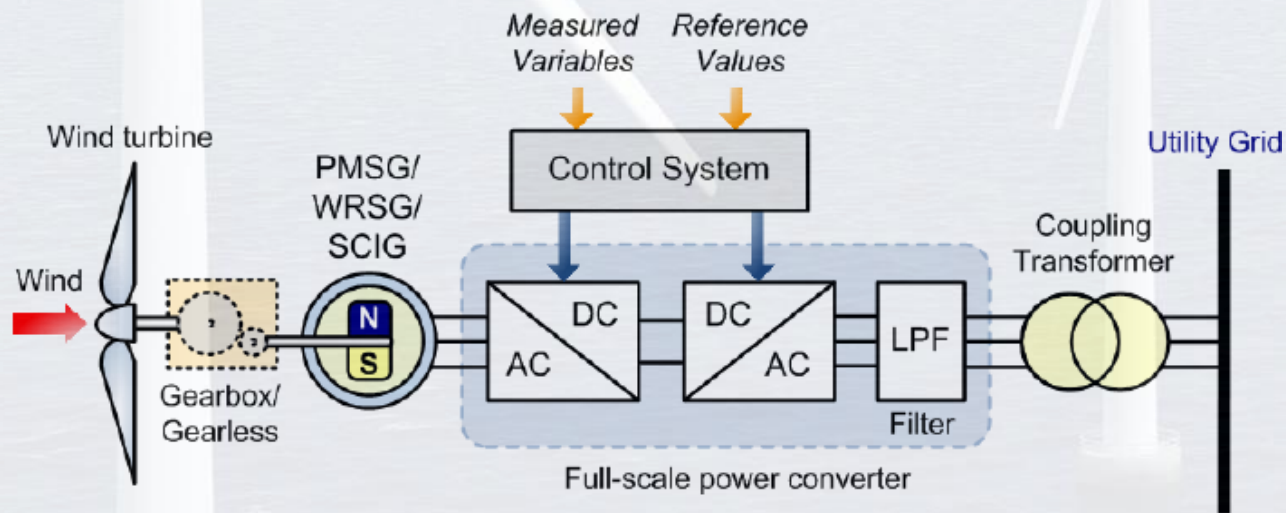
- Les principales composantes électriques se trouvant dans une tour d'éolienne sont :
  - Les convertisseurs
  - L'armoire de commande
  - Le transformateur (peut être à l'extérieur de la tour)



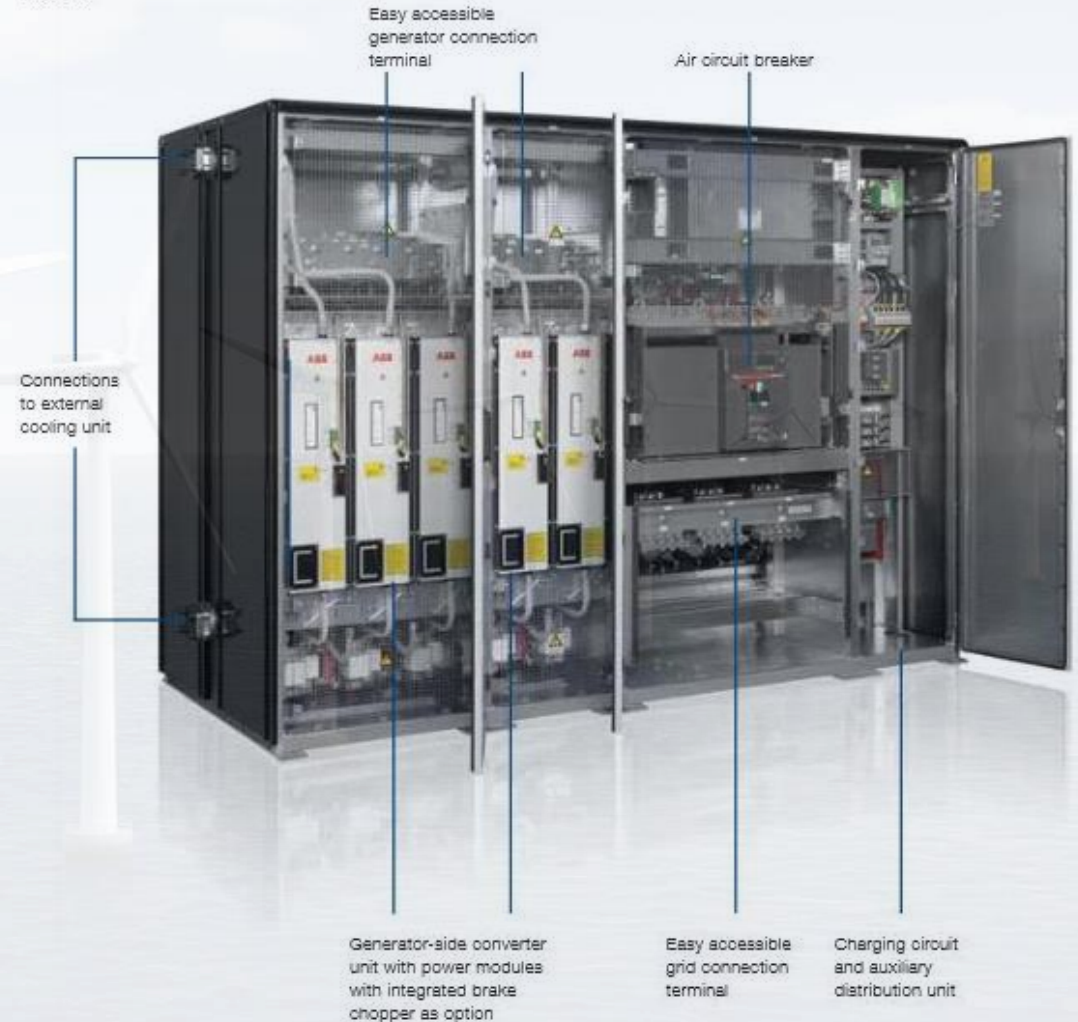
# Composantes électriques dans la tour

- Convertisseurs

- Les convertisseurs ont pour rôle de contrôler la tension et la fréquence et d'autres paramètres en vue de fournir de l'électricité de bonne qualité de l'onde



ACS880, 4 MW,  
back-to-back configuration,  
front view.



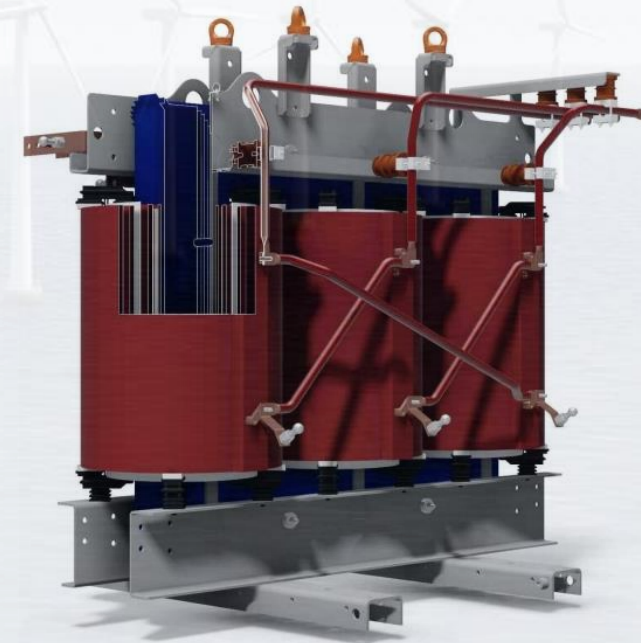
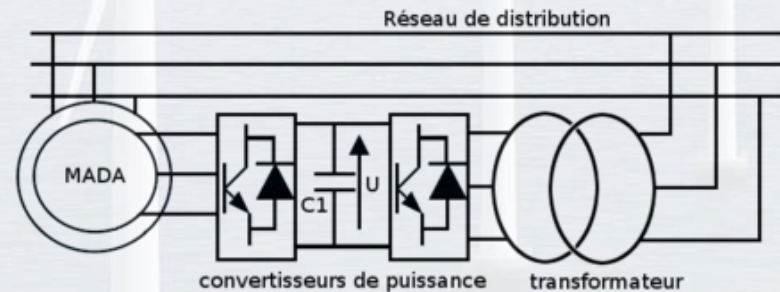
# Composantes électriques dans la tour

- L'armoire de commande
  - Comporte le système de commande électrique de l'éolienne
  - Permet d'observer sur place l'état de fonctionnement de l'éolienne



# Composantes électriques dans la tour

- Le transformateur
  - Elève la tension du courant électrique produit par la génératrice pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne tension du réseau.



# Composantes électriques dans la tour

- Le transformateur

- On trouve généralement deux types de **transformateurs** de puissance dans les parcs éoliens : les transformateurs sur socle, à la tour, et les transformateurs principaux, à la sous-station principale. Ceux sur socle sont dotés de fusibles qui les protègent des défaillances.

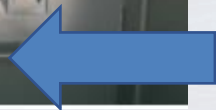


Quant au transformateur principal de la sous-station, il est généralement beaucoup plus gros que ceux sur socle et est branché sur le réseau électrique public.



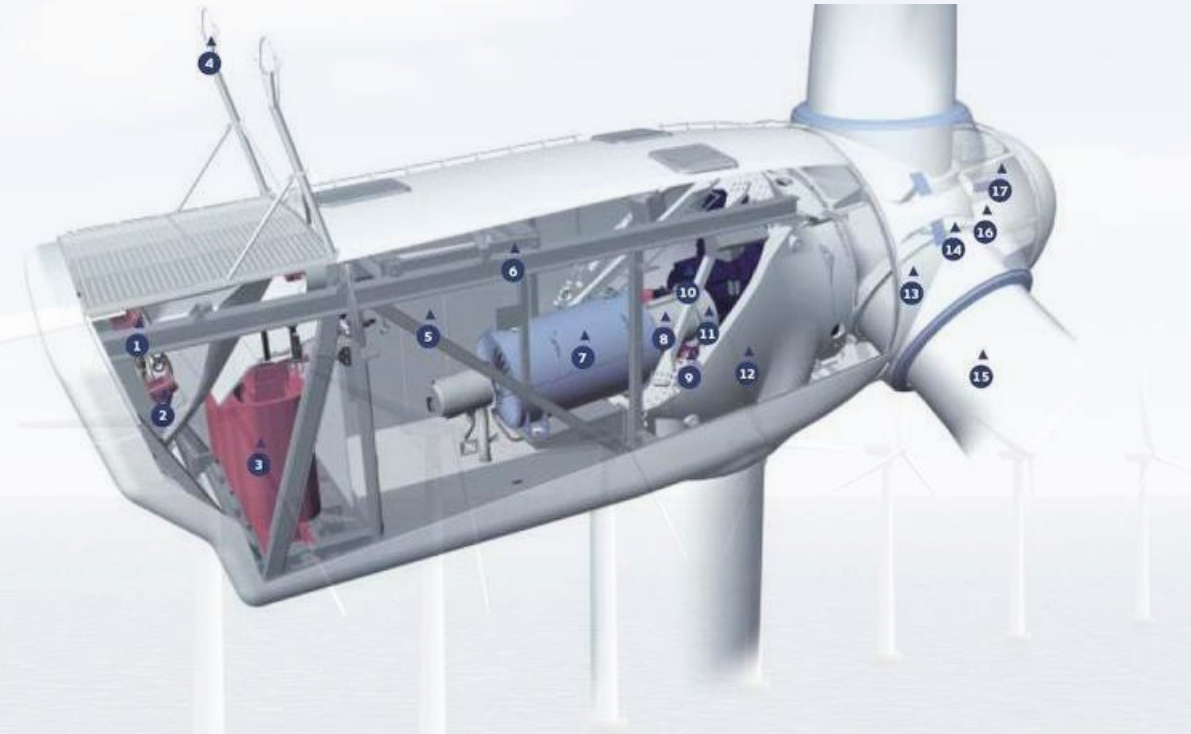
La photo ci-contre, prise dans un centre de formation, montre le technicien de maintenance et l'outil pour travaux sous tension à utiliser pour actionner un disjoncteur de dérivation. Il s'agit d'une perche isolante à grande résistance électrique (500MΩ)

Les transformateurs sur socle sont souvent dotés d'enroulements en aluminium et utilisent des fusibles internes à faible tension comme protection contre les défaillances de l'enroulement principal.



# Composantes électriques dans la nacelle

- En plus de la génératrice, d'autres machines et appareils électriques se trouvent dans la nacelle :
  - Ventilateurs de refroidissement des génératrices électriques
  - Moteurs de pompes de lubrification
  - Moteurs du système d'orientation de la nacelle

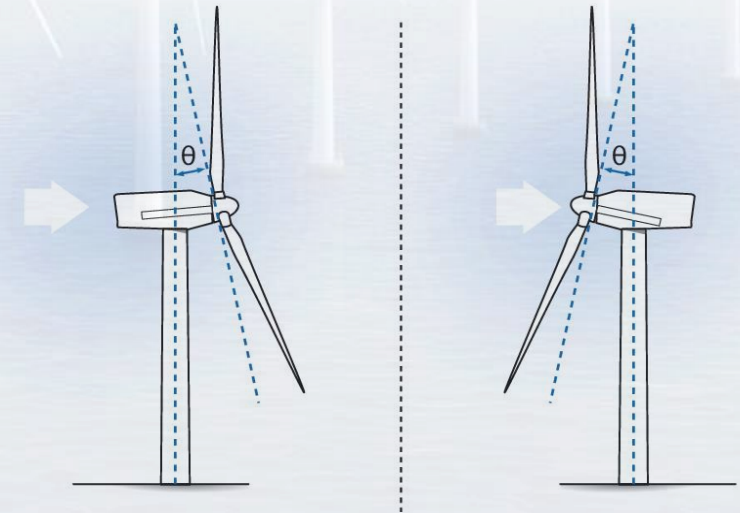


- |   |   |    |                        |    |                   |    |                         |
|---|---|----|------------------------|----|-------------------|----|-------------------------|
| 1 | Système de refroidissement                  | 6  | Pont roulant           | 11 | Frein mécanique   | 16 | Vérin de réglage de pas |
| 2 | Système de refroidissement de l'alternateur | 7  | Alternateur OptiSpeed® | 12 | Châssis           | 17 | Régulateur du moyeu     |
| 3 | Transformateur                              | 8  | Couplage composite     | 13 | Roulement de pale |    |                         |
| 4 | Anémomètre et girouette ultrasoniques       | 9  | Moteur d'orientation   | 14 | Moyeu             |    |                         |
| 5 | Régulateur supérieur VMP avec convertisseur | 10 | Multiplicateur         | 15 | Pale              |    |                         |

# Composantes électriques dans la nacelle



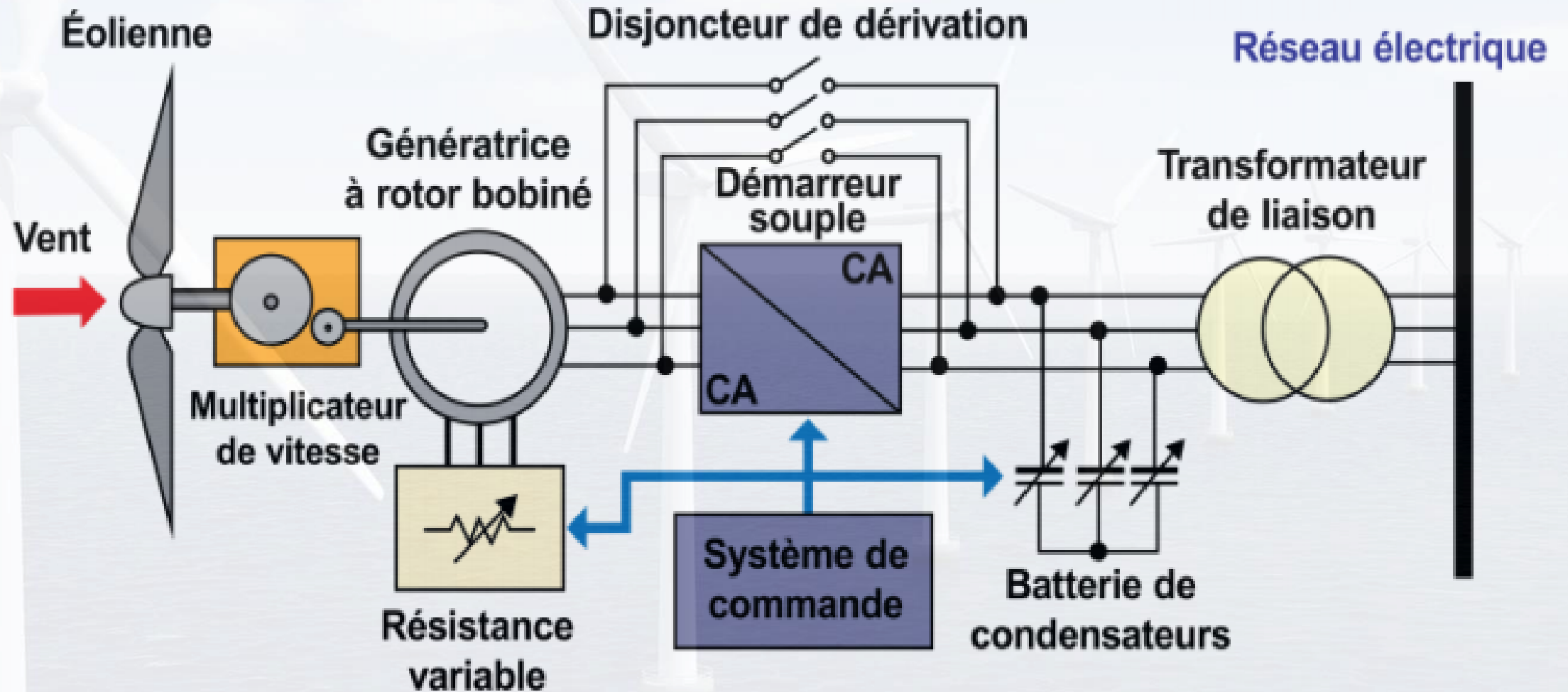
- Les **moteurs d'orientation** (en anglais: Yaw drive) assurent un **contrôle optimal** de la nacelle.
- Pendant le fonctionnement de l'éolienne, **la nacelle est automatiquement tournée vers le vent** afin de capter la puissance maximale. Le nombre d'entraînements (pivot) utilisés varie selon le type d'éolienne.



# Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Composantes électriques dans la tour et dans la nacelle
- ***Schéma électrique d'une éolienne***
- Connexion des machines asynchrones au réseau
- Connexion des machines synchrones au réseau
- Les technologies utilisées par les grands constructeurs
- Problématiques de la connexion au réseau
- Les éoliennes autonomes
- Contraintes rencontrées en milieu nordique
- Conclusion

# Schéma électrique d'une éolienne

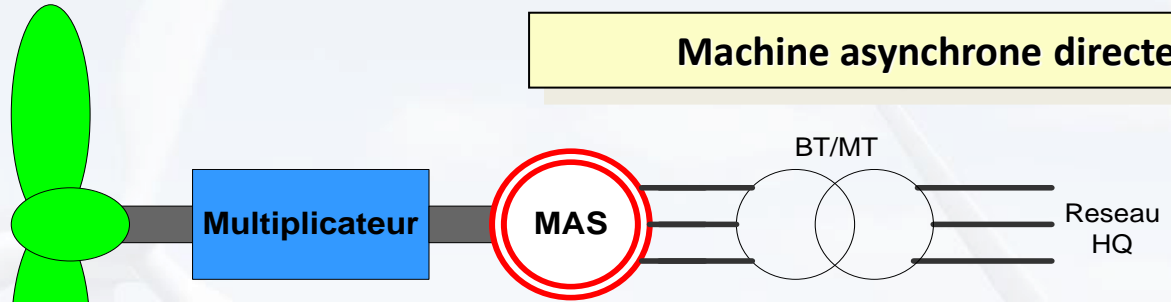


# Plan de cette présentation

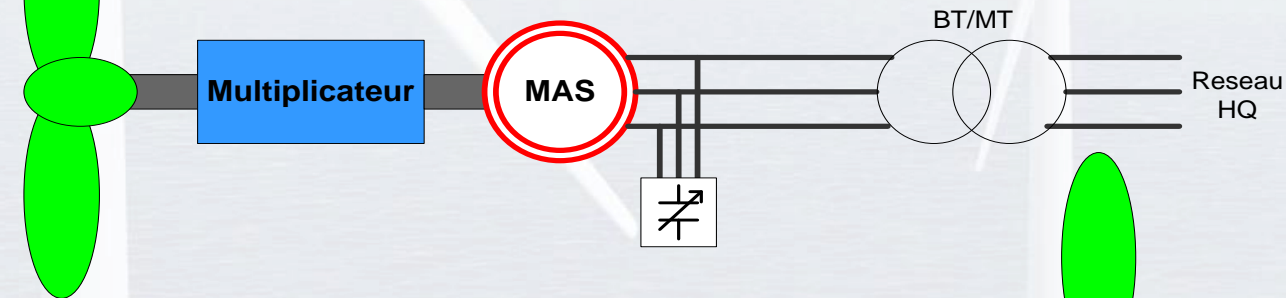
- Introduction et objectifs
- Composantes électriques dans la tour et dans la nacelle
- Schéma électrique d'une éolienne
- ***Connexion des machines asynchrones au réseau***
- Connexion des machines synchrones au réseau
- Les technologies utilisées par les grands constructeurs
- Problématiques de la connexion au réseau
- Les éoliennes autonomes
- Contraintes rencontrées en milieu nordique
- Conclusion

# La connexion des machines asynchrones

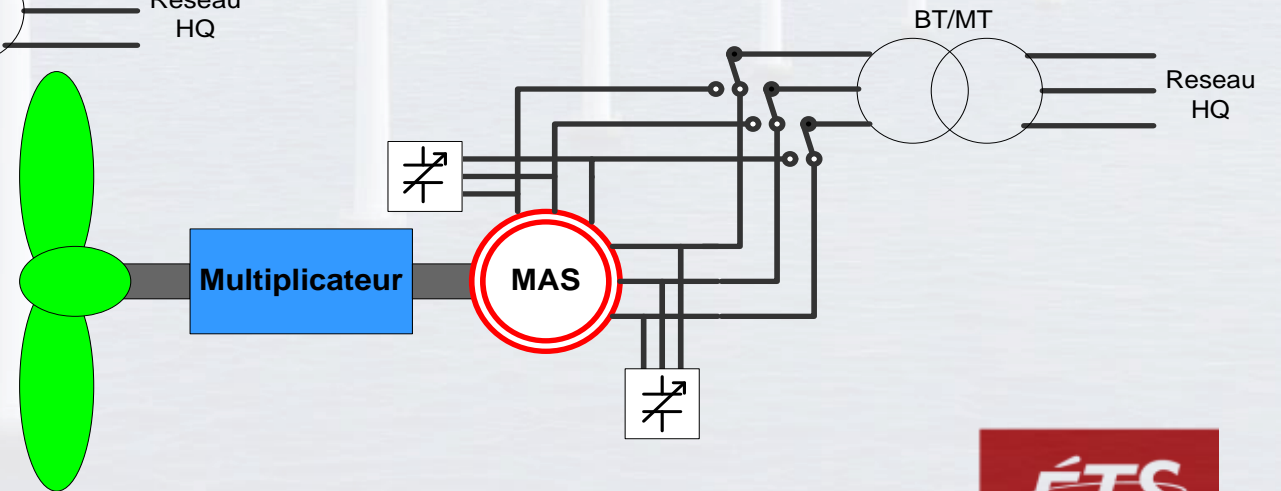
## Machine asynchrone directement couplée au réseau



- Pas de régulation de tension
- Pas de régulation de fréquence

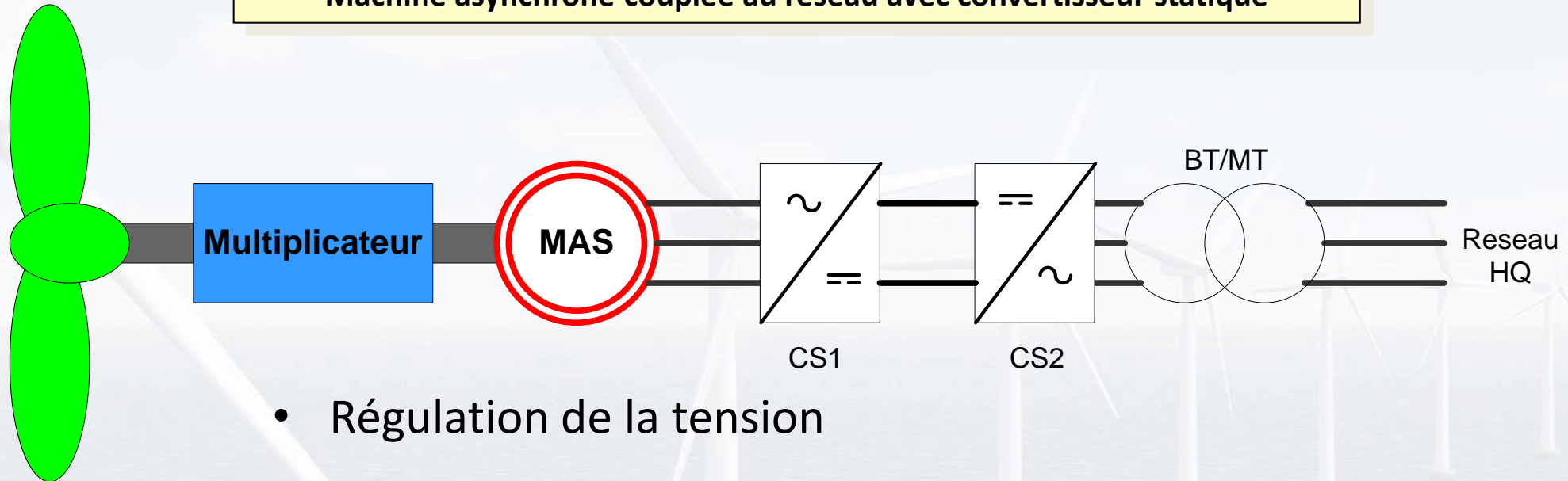


- 2 vitesses de rotation



# La connexion des machines asynchrones

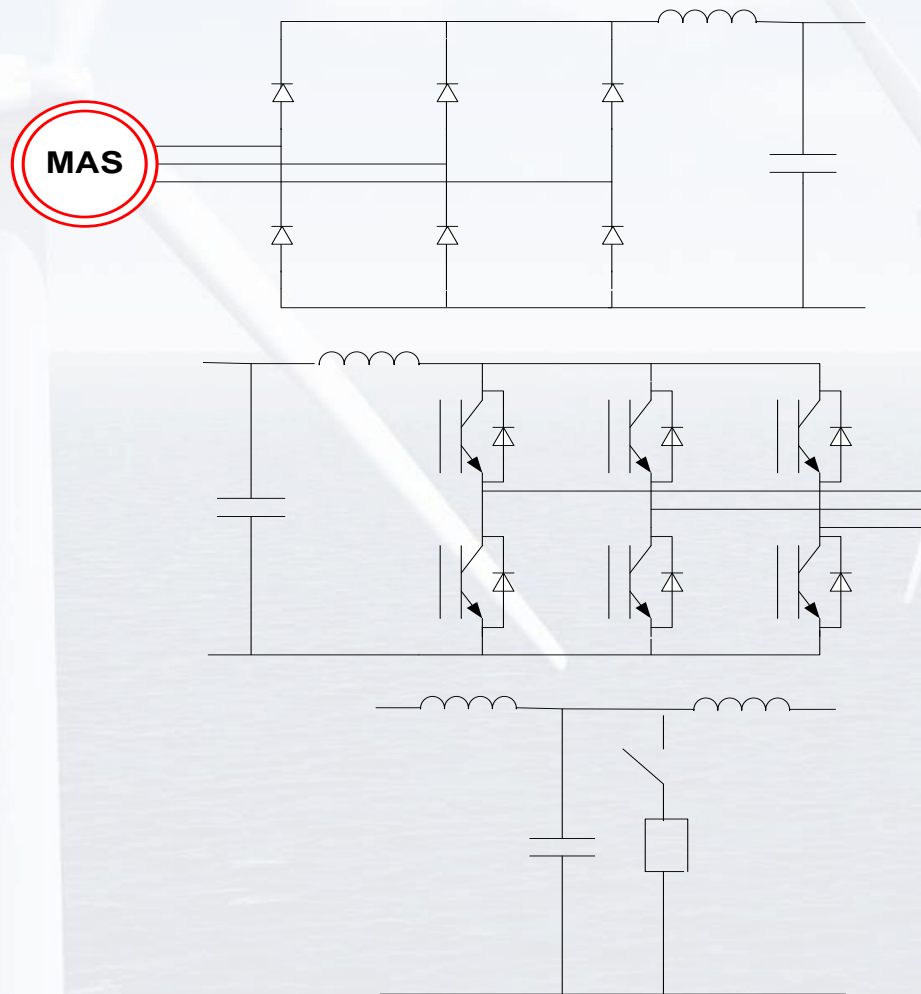
Machine asynchrone couplée au réseau avec convertisseur statique



- Régulation de la tension
- Grande plage de fonctionnement
- Possibilité de régulation de la fréquence
- Transfert de puissance réactive contrôlable
- Pertes de puissance non négligeable (3%)

# La connexion des machines asynchrones

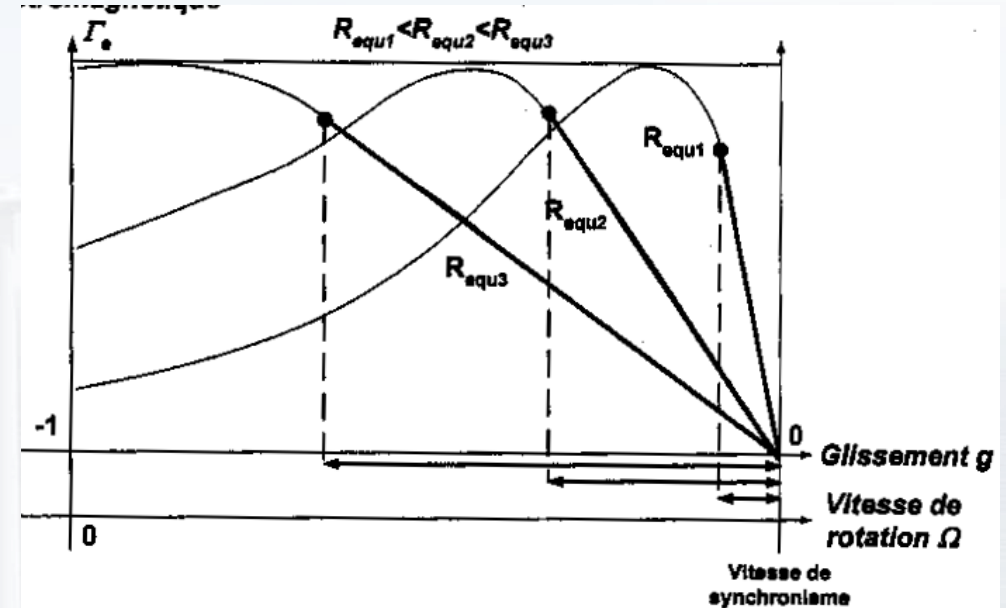
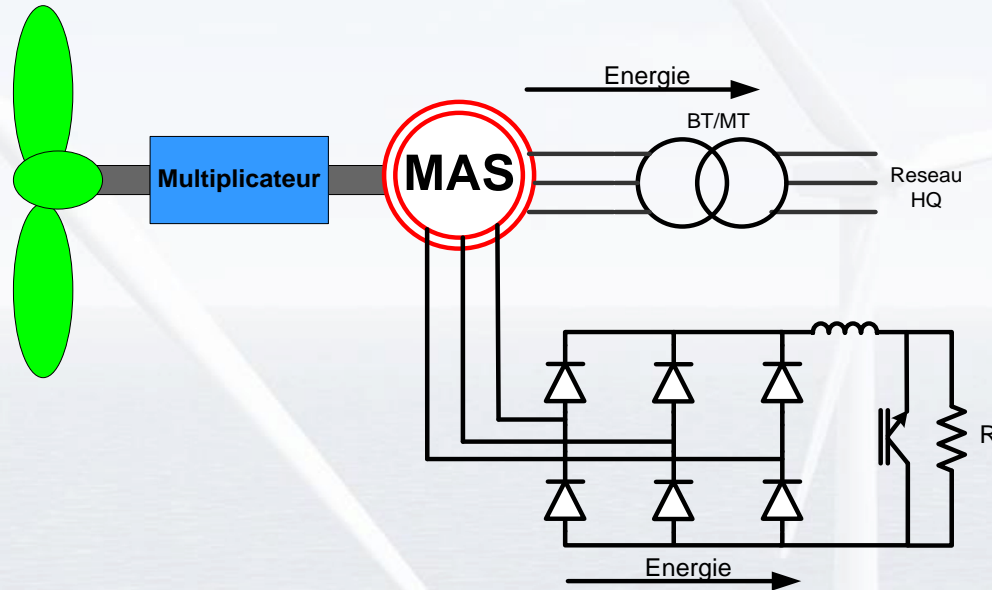
## Machine asynchrone couplée au réseau avec convertisseur statique (suite)



- Redresseur commandé : permet le transfert de puissance active vers le lien continu
- Onduleur MLI : peu d'harmoniques sur le réseau
- Bidirectionnel : permet de fournir la puissance réactive
- Possibilité de facteur de puissance unitaire
- Nécessité d'une résistance de dissipation

# La connexion des machines asynchrones

Machine asynchrone (à rotor bobiné) reliée au réseau avec contrôle du glissement par action dissipative sur le rotor

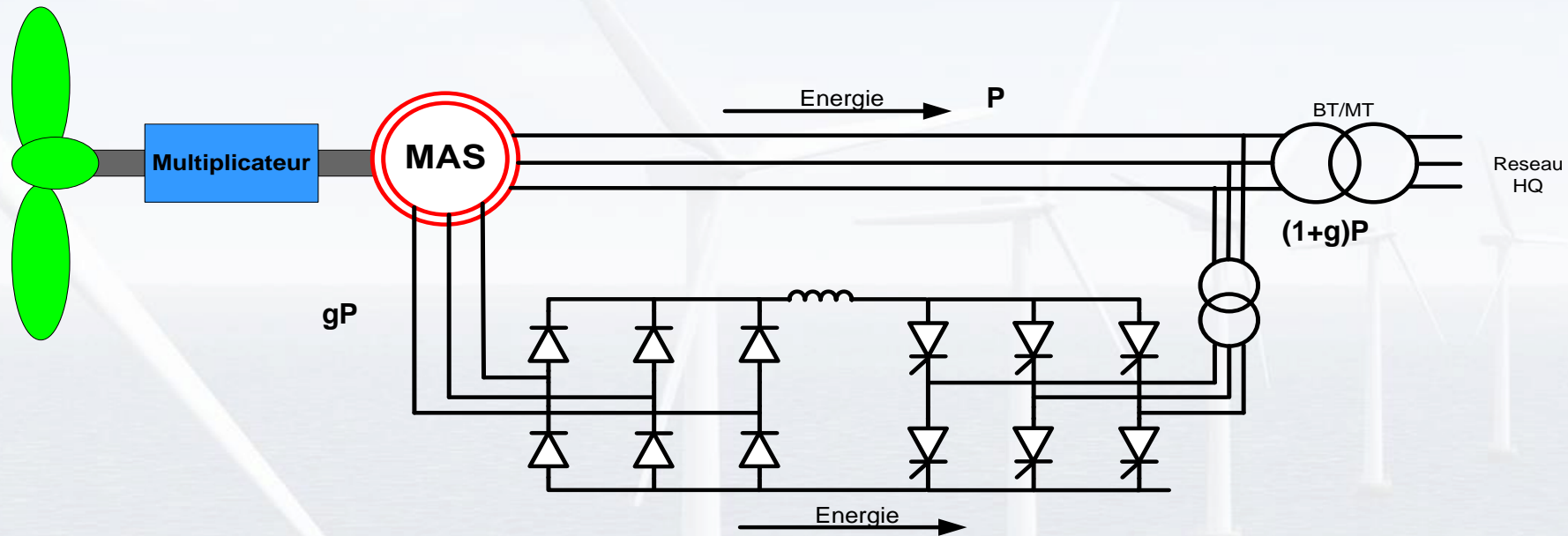


- Contrôle du glissement en fonction de la vitesse de rotation
- Affaiblissement du rendement
- Faible variation de vitesse

- Effet de la variation du glissement sur le couple électromagnétique

# La connexion des machines asynchrones

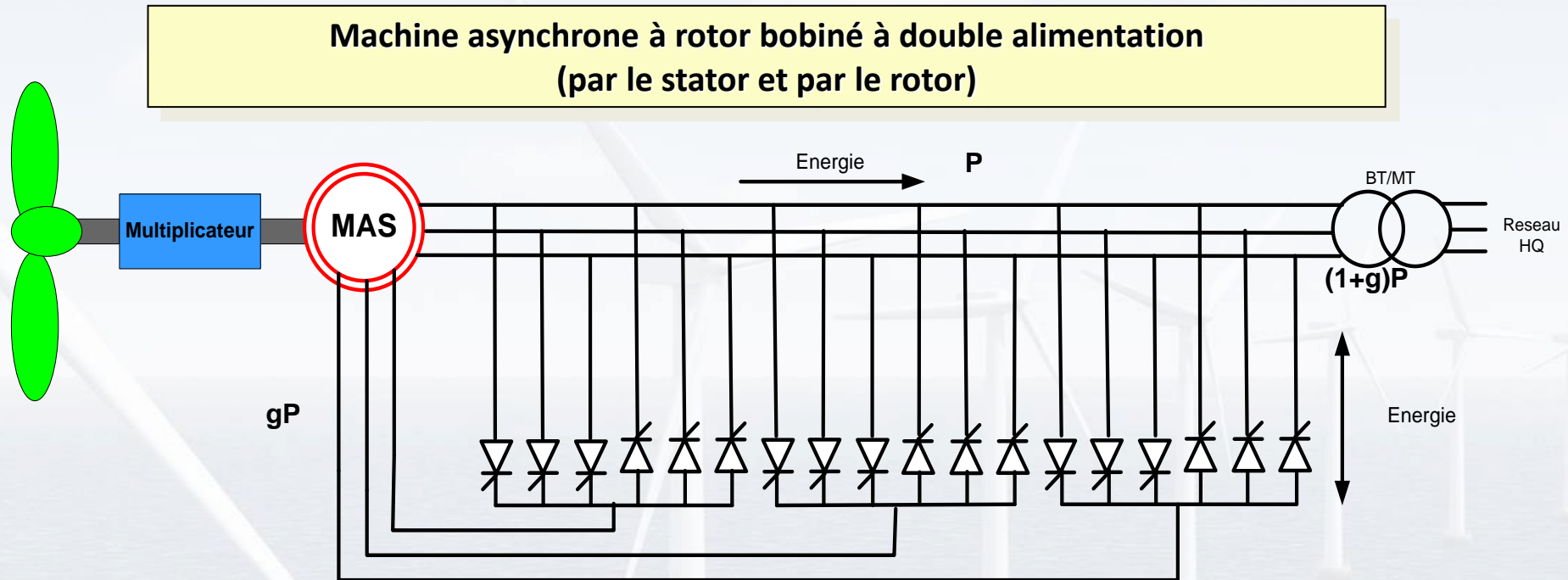
Machine asynchrone à rotor bobiné à double alimentation  
(par le stator et par le rotor)



- **Structure Kramer**

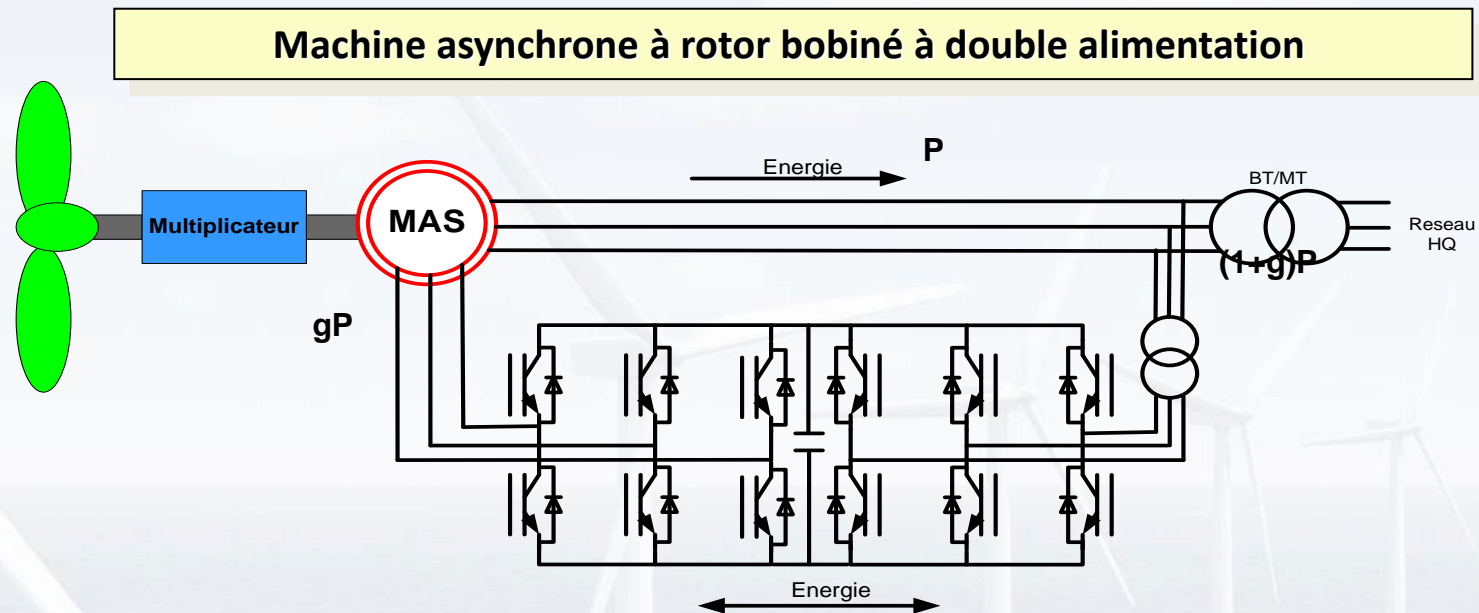
- Convertisseur inférieur à la puissance du générateur
- Opération en hyper synchrone

# La connexion des machines asynchrones



- **Structure de Schrebius avec cyclo-convertisseur**
  - Convertisseur inférieur à la puissance du générateur
  - Opération en hyper synchrone et en hypo synchrone
  - $\pm 30\%$  de la vitesse nominale

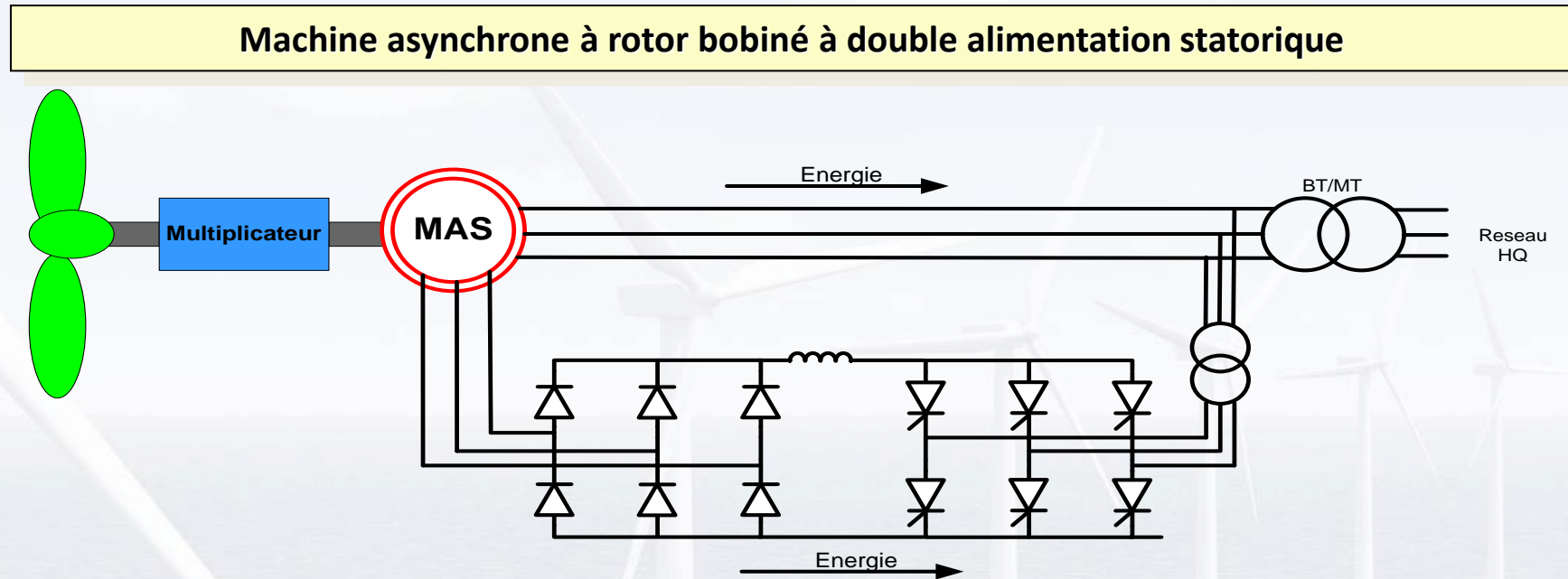
# La connexion des machines asynchrones



- **Structure de Schrebius avec convertisseurs MLI**

- Contrôle de flux et de vitesse de rotation de la machine
- Contrôle des puissances actives et réactives transitées au réseau
- Convertisseur =  $1/3$  de la puissance du générateur
- Opération en hyper synchrone et en hypo synchrone
- $\pm 30\%$  autour du synchronisme
- Puissance totale peut dépasser la puissance de la machine

# La connexion des machines asynchrones



- Double bobinage statorique
- **Avantages**
  - Pas besoin de système de balais-collecteurs
  - Possibilité de contrôler le flux statorique, donc le glissement et donc la vitesse de rotation
  - Le convertisseur peut être commandé de manière à minimiser la puissance réactive

# La connexion des machines asynchrones

## Principales caractéristiques des machines asynchrones à double alimentation

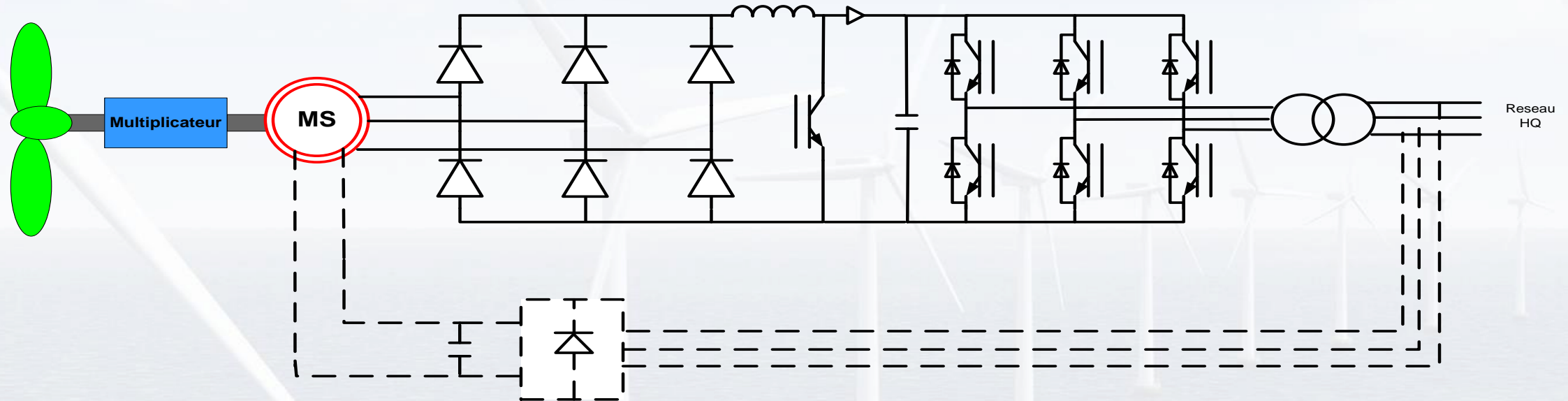
Technologie	Type de MADA	Convertisseur utilisé	Transfert de puissance	Variation de la puissance du rotor
Machine sans balais à double alimentation	Double bobinage au stator	Convertisseur MLI au stator et côté réseau	Transfert bidirectionnel de l'énergie de glissement	Variable 25%
Machine à double alimentation par le rotor et le stator et dissipation d'énergie	Un seul bobinage <u>statorique</u> et un rotor bobiné	Redresseur pour le contrôle du glissement Hacheur connecté à une charge résistive	Transfert unidirectionnel de l'énergie de glissement	Variable 25%
Machine à double alimentation par le rotor et récupération de la puissance <u>rotorique</u>	Un seul bobinage <u>statorique</u> et un rotor bobiné	Redresseur à diodes du côté rotor Onduleur à thyristors du côté réseau	Transfert bidirectionnel de l'énergie de glissement	Variable 25%
		<u>Cycloconvertisseur Sherbius</u>	Transfert bidirectionnel de l'énergie de glissement	Variable 50%
		Double convertisseur MLI	Transfert bidirectionnel de l'énergie de glissement	Variable 50%

# Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Composantes électriques dans la tour et dans la nacelle
- Schéma électrique d'une éolienne
- Connexion des machines asynchrones au réseau
- ***Connexion des machines synchrones au réseau***
- Les technologies utilisées par les grands constructeurs
- Problématiques de la connexion au réseau
- Les éoliennes autonomes
- Contraintes rencontrées en milieu nordique
- Conclusion

# La connexion des machines synchrones

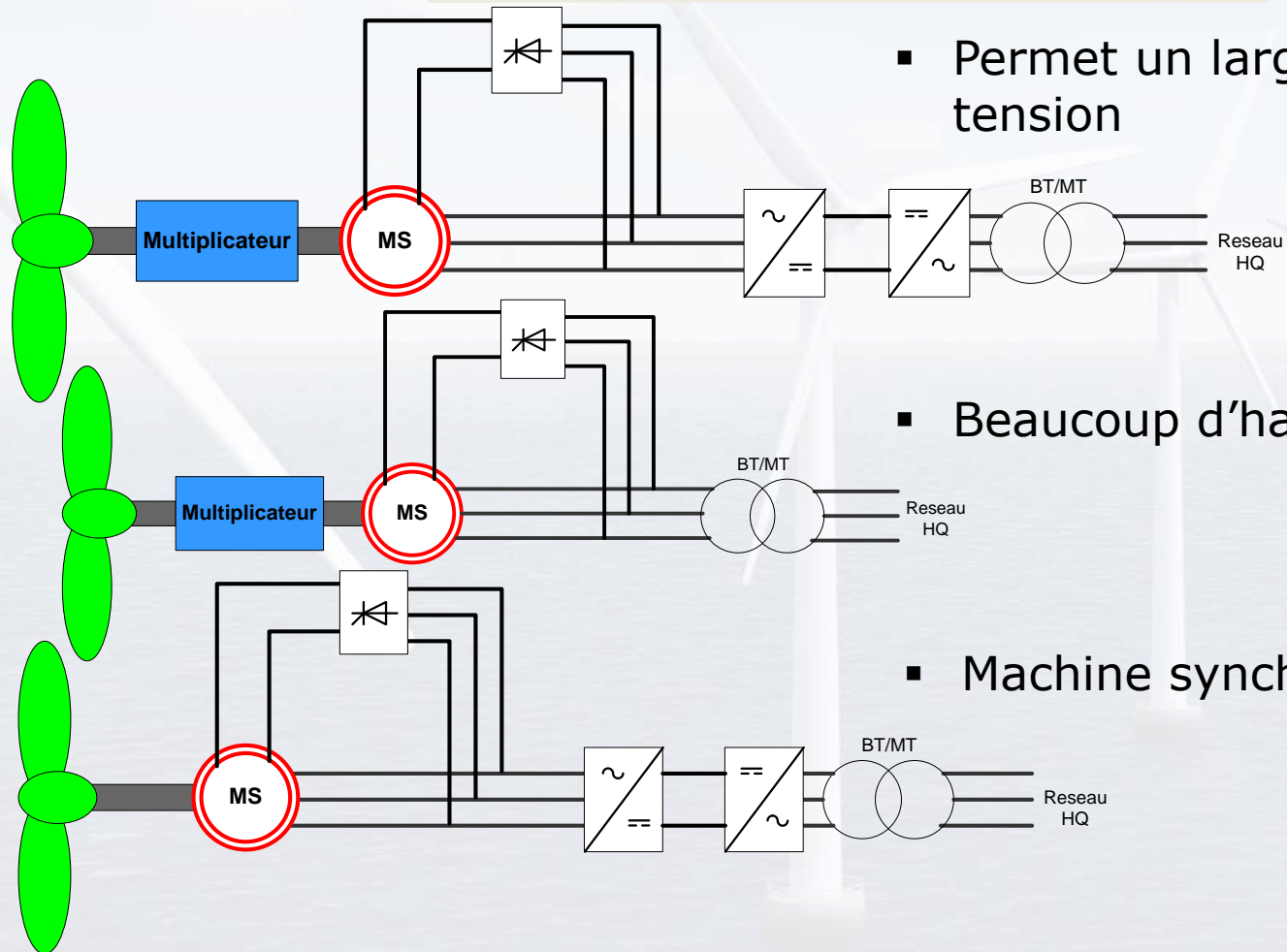
Machine synchrone à rotor bobiné ou à aimants permanents



- Synchronisation obligatoire
- Bobinage rotorique à courant continu
- Risque de démagnétisation pour les aimants
- Directionnel en puissance (pas de consommation de réactif)
- Machine discoïde

# La connexion des machines synchrones

## Éolienne équipée d'une génératrice synchrone



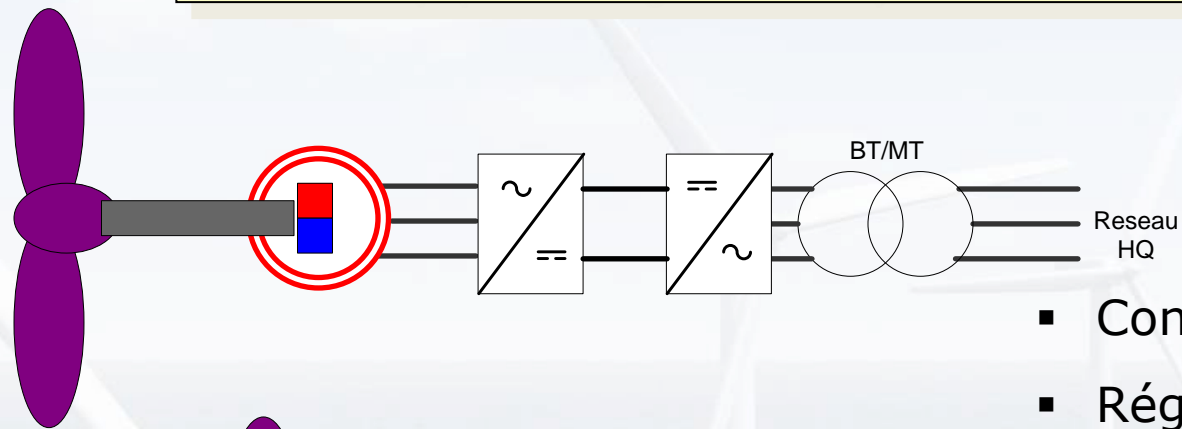
- Permet un large contrôle de la vitesse et de la tension

- Beaucoup d'harmoniques sur le réseau

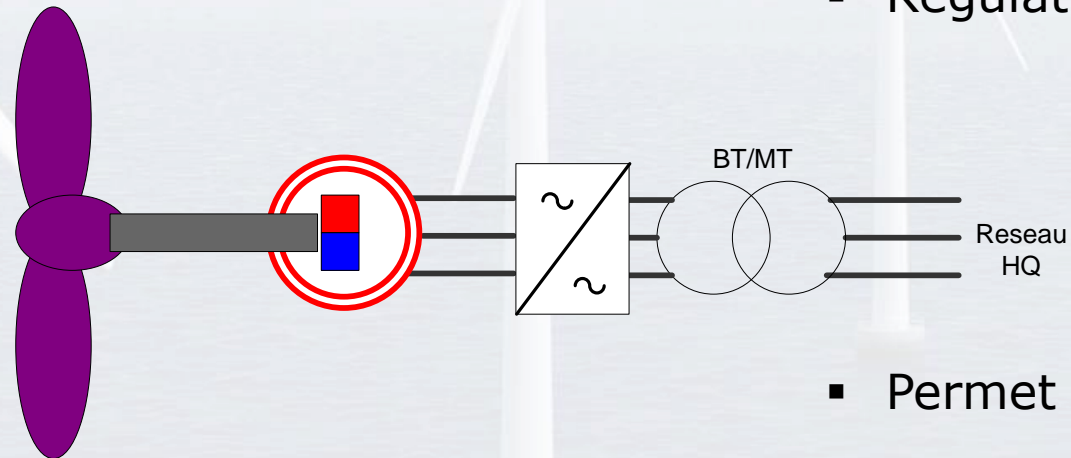
- Machine synchrone à pôles saillants

# La connexion des machines synchrones

Éolienne équipée d'une génératrice synchrone à aimants permanents



- Consomme du réactif
- Régulation de la puissance réactive



- Permet une régulation de vitesse

# Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Composantes électriques dans la tour et dans la nacelle
- Schéma électrique d'une éolienne
- Connexion des machines asynchrones au réseau
- Connexion des machines synchrones au réseau
- ***Les technologies utilisées par les grands constructeurs***
- Problématiques de la connexion au réseau
- Les éoliennes autonomes
- Contraintes rencontrées en milieu nordique
- Conclusion

# Les technologies utilisées par les grands constructeurs

**Table 2** Large wind turbines with induction generators on the market

Manufacturer	Power/rotor diameter	Manufacturer	Power/rotor diameter
Repower	6.0 MW/126 m	Siemens	3.0 MW/101 m
Bard	5.0 MW/122 m	Acciona	3.0 MW/100–116 m
Repower	5.0 MW/126 m	Creative	3.0 MW/103.4–100 m
Windtec	5.0 MW/127–140 m	Guodian	3.0 MW/100 m
Vestas	4.5 MW/120 m	Windtec	3.0 MW/91–112 m
Siemens	3.6 MW/107–120 m	Vestas	2.75 MW/100 m
Repower	3.4 MW/104 m	Vestas	2.6 MW/100 m
Repower	3.2 MW/114 m	Fuhrlander	2.5 MW/80–104 m
Vestas	3.0 MW/90–112 m	Nordex	2.5 MW/80–100 m
GE	3.0 MW/104 m	W2E	2.5 MW/90–113 m
Ecotecnia	3.0 MW/100–110 m	Eviag	2.5 MW/90–100 m

Référence : <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s40435-013-0016-y.pdf>

# Les technologies utilisées par les grands constructeurs

**Table 3** Large wind turbines with SGs on the market

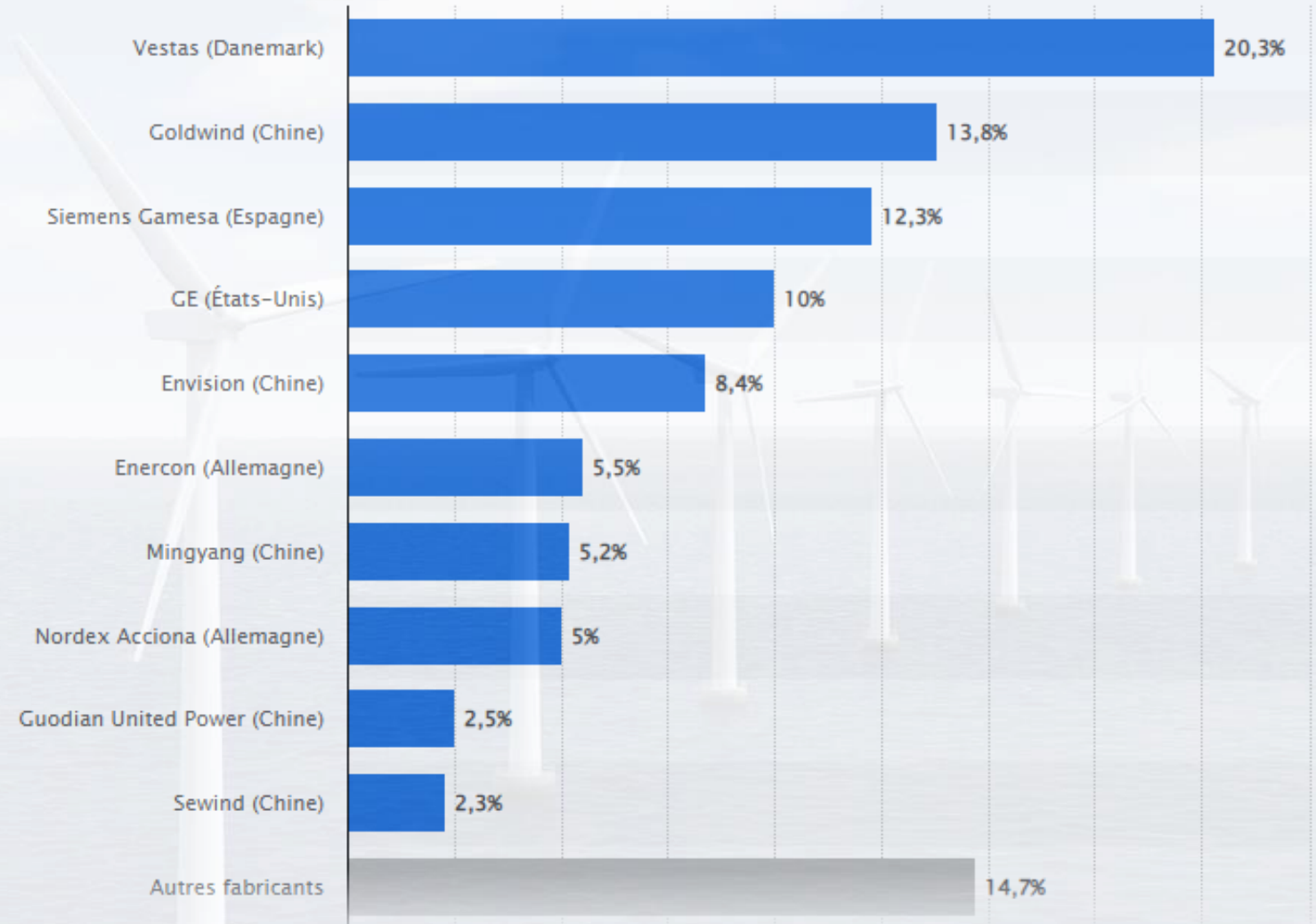
Manufacturer	Power/rotor diameter	Manufacturer	Power/rotor diameter
Enercon	7.58 MW/132 m	Shandong	3.0 MW/100–113 m
GE	6.0 MW/150 m	W2E	3.0 MW/128 m
Alstom	6.0 MW/150 m	Lagerway	3.0 MW/90 m
Siemens	6.0 MW/154 m	Leitwind	3.0 MW/92.7–101 m
Nordex	6.0 MW/150 m	Windtec	3.0 MW/91–112 m
Multibird	5.0 MW/116–135 m	GE	2.75 MW/100–103 m
Creative	5.0 MW/126 m	Avantis	2.5 MW/93.2 m
Enercon	4.5 MW/114 m	Goldwind	2.5 MW/90–100 m
Nordex	4.0 MW/110–113 m	Kenersys	2.5 MW/100 m
Creative	3.6 MW/115–126 m	Lagerway	2.5 MW/90–93 m
Mervento	3.6 MW/118 m	Leitwind	2.5 MW/104.1 m
WinWind	3.0 MW/90–109 m	M Torres	2.5 MW/90–109 m
Blaster	3.0 MW/100 m	Clipper	2.5 MW/89–100 m
Doosan	3.0 MW/91.3 m	Powerwind	2.5 MW/90–100 m
Fuhrlander	3.0 MW/120.6 m	Samsung	2.5 MW/90–99.8 m
Guodian	3.0 MW/100–108 m	GE	2.5 MW/100 m

Référence : <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s40435-013-0016-y.pdf>

# Les technologies utilisées par les grands constructeurs

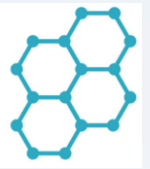
- Classement des plus importants fabricants de turbines éoliennes dans le monde, selon leur part de marché (2018)

Référence : <https://fr.statista.com/>



# Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Composantes électriques dans la tour et dans la nacelle
- Schéma électrique d'une éolienne
- Connexion des machines asynchrones au réseau
- Connexion des machines synchrones au réseau
- Les technologies utilisées par les grands constructeurs
- ***Problématiques de la connexion au réseau***
- Les éoliennes autonomes
- Contraintes rencontrées en milieu nordique
- Conclusion



ENR2020

# Question

- Quel est le poste de dépense le plus important pour la connexion des éoliennes au réseau ?
  - A. Le générateur
  - B. Les convertisseurs
  - C. Le câblage
  - D. Les filtres anti-harmoniques
  - E. Le système de contrôle

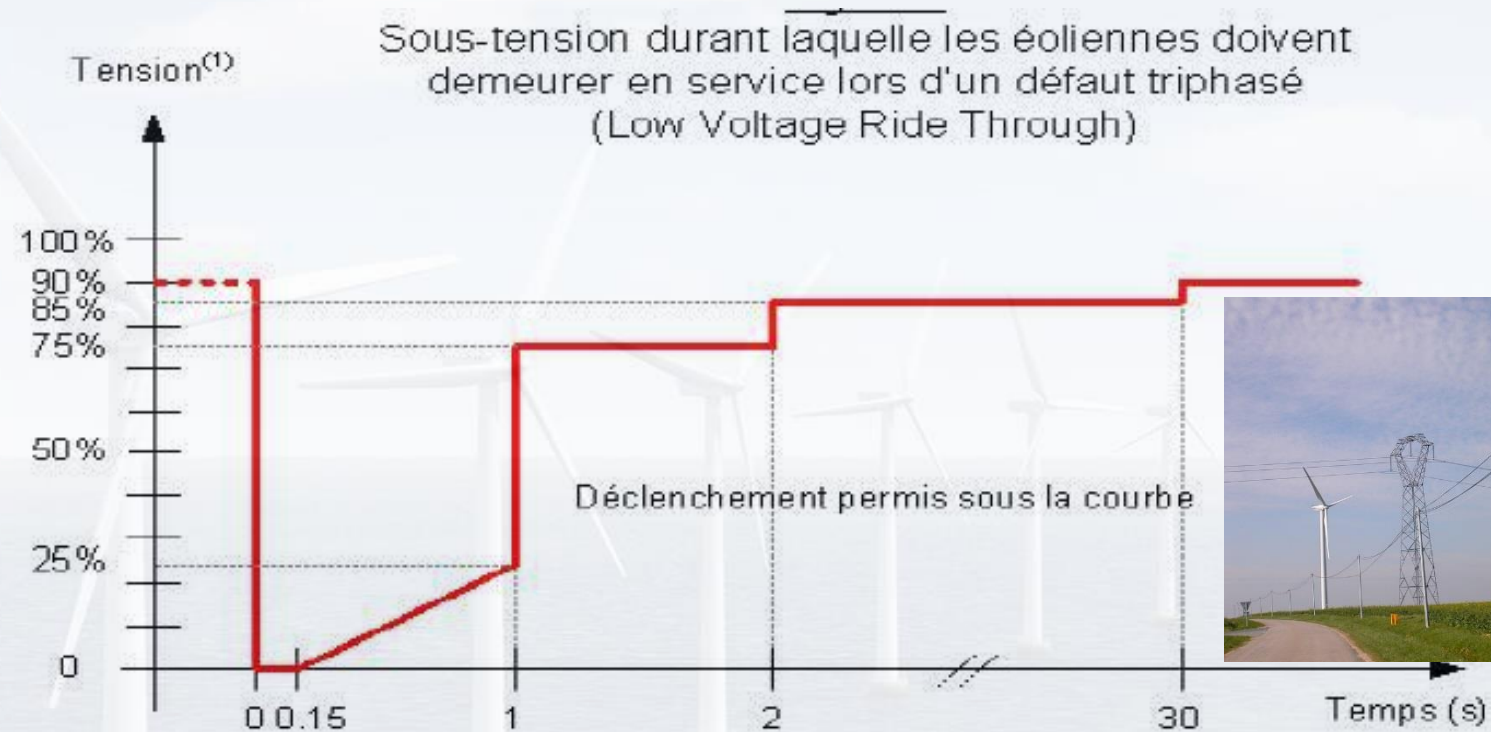
# Problématiques de la connexion au réseau

- Un de problèmes liés à la connexion au réseau, est la nécessité d'un isolement électromagnétique des convertisseurs
- Coût des principaux composants électriques

Composants	Répartition approximative des coûts
Générateur	15%
Convertisseurs	25%
Filtre anti-harmoniques	4%
Systèmes de contrôle basse tension (24Vdc ou 110Vac)	4%
Alimentation auxiliaire pour la commande des moteurs auxiliaires (pas variable, rotation de la tour,..)	10%
Systèmes de sécurité (trafic aérien, incendie...)	5%
Câbles de puissance, transformateur, disjoncteur, boîtiers de connexion	15%
Système de contrôle	7%
Assemblage et câblage	15%

# Problématiques de la connexion des éoliennes au réseau

- Les éoliennes raccordées à un réseau de transport doivent demeurer en service sans déclenchement (déconnexion) aussi longtemps que possible même lors de perturbations sur le réseau, mais dans certaines limites



<sup>(1)</sup> Tension de composante directe à la haute tension du poste de départ

*Conditions de tension sans déclenchement d'éolienne*

# Problématiques de la connexion des éoliennes au réseau

## Seuils et durées minimales pour lesquels les éoliennes doivent demeurer en service sans déclenchement lors de surtension (Canada)

Surtension (p.u.) <sup>note 1</sup>	Durée minimale
$\leq 1,10$	Permanent
$> 1,10$	300 secondes
$> 1,15$	30 secondes
$> 1,20$	2 secondes
$> 1,25$ <sup>note 2</sup>	0,10 seconde
$> 1,40$ <sup>note 2</sup>	0,03 seconde

**Note 1 :** Tension de composante directe à la haute tension du poste de départ

**Note 2 :** Un blocage temporaire est permis lorsque la tension dépasse 1,25 p.u. pour les installations utilisant de l'électronique de puissance. Le fonctionnement normal est cependant requis dès que la tension redescend sous 1,25 p.u.

# Problématiques de la connexion des éoliennes au réseau

Plages de fréquence et durées minimales pour lesquelles les éoliennes doivent demeurer en service sans déclenchement lors d'écart de fréquence (Canada)

Surfréquence	Sous-fréquence	Durée minimale
$60,0 \leq F \leq 60,6$	$59,4 \leq F \leq 60,0$	Permanent
$60,6 < F \leq 61,5$	$58,5 \leq F < 59,4$	11 minutes
$61,5 < F < 61,7$	$57,5 \leq F < 58,5$	1,5 minute
$57,0 \leq F < 57,5$		10 secondes
$56,5 \leq F < 57,0$		2 secondes
$55,5 \leq F < 56,5$		0,35 seconde
$F \geq 61,7$	$F < 55,5$	Instantané

# Problématiques de la connexion des éoliennes au réseau

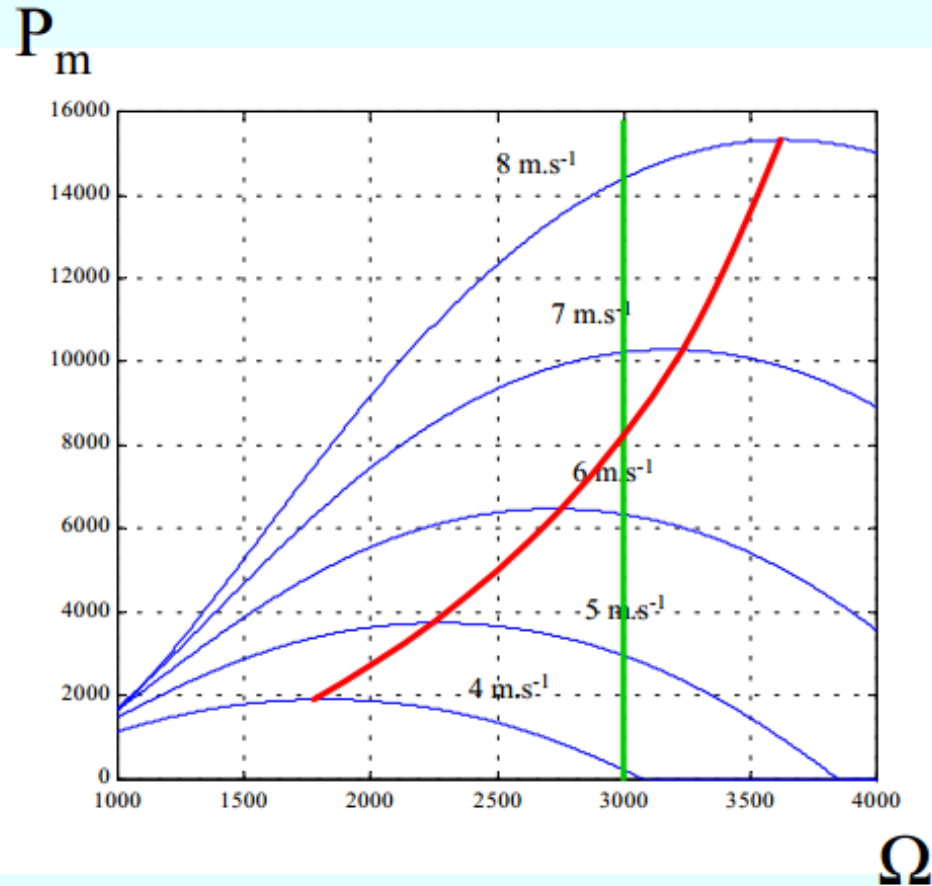
- La régulation de la tension
  - est indispensable au maintien de la stabilité et de la fiabilité du réseau de transport.
  - pour qu'elle soit efficace, il faut que la grande majorité des centrales participent à cette tâche.
- Nécessité des systèmes de protection de tension et de fréquence



# Problématiques de la connexion des éoliennes au réseau

- Les limites d'intégration des éoliennes dans les réseaux :
  - Évolution de la technologie de fabrication des génératrices d'éoliennes face aux aspects de contrôle de niveau de tension et de fréquence
  - Perte de génération de puissance et de production d'origine éolienne suite à des défauts électriques
  - Disponibilité d'énergie éolienne sur le réseau de transport et de distribution
  - Potentiels problèmes de papillotement lors des variations de vitesse du vent
  - Capacité de délestage limitée
  - Communications entre les parcs éoliens et le centre de contrôle chez les opérateurs des parcs ou chez Hydro-Québec

# Problématiques de la connexion au réseau



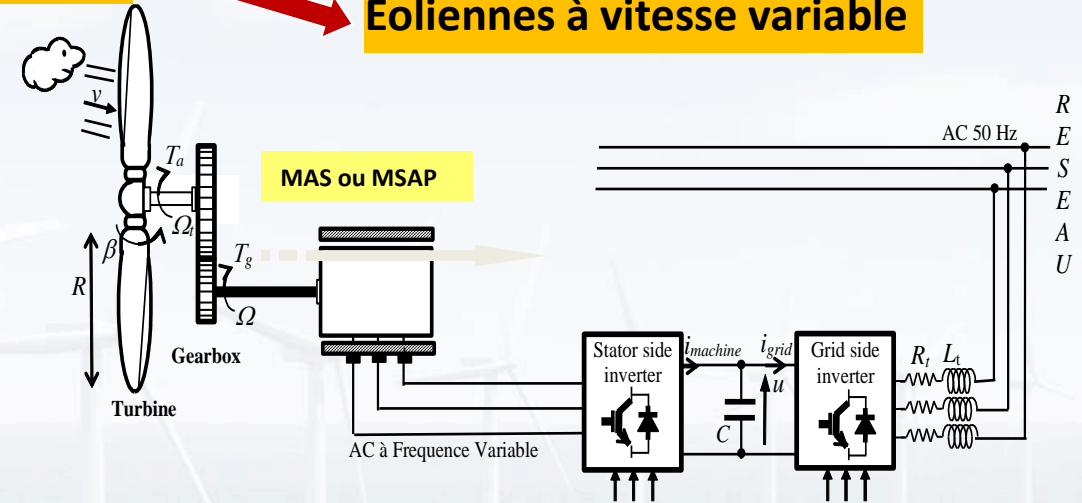
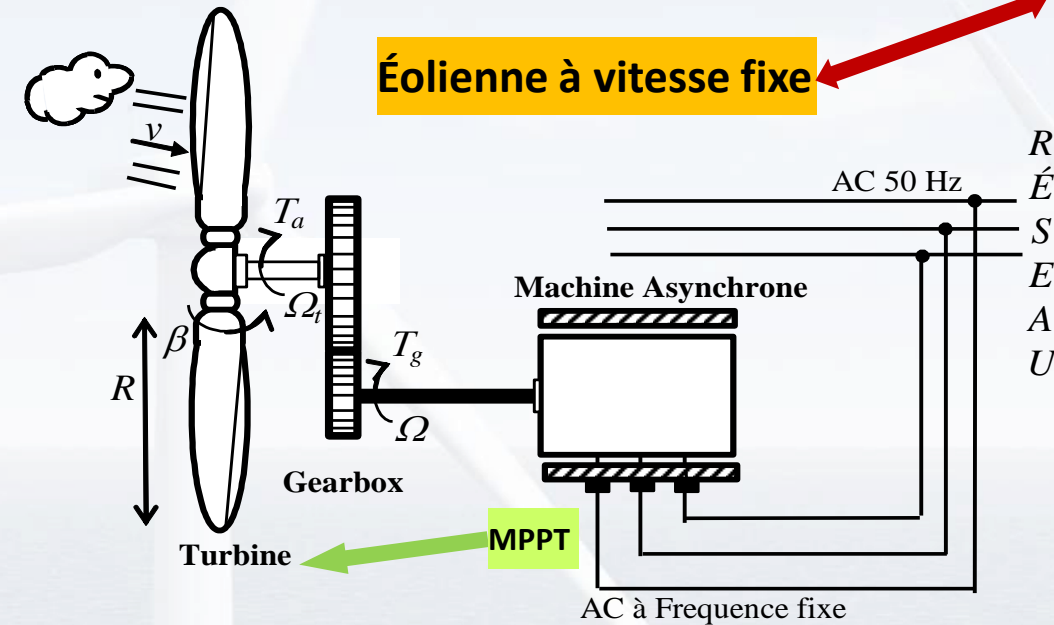
- En vitesse fixe : le maximum théorique n'est pas atteint
- En **vitesse variable** : La puissance maximale est exploitée pour toutes les vitesses du vent (régulation de  $\lambda$  optimal pour avoir  $C_p$  maximum)

# Problématiques de la connexion au réseau

Deux types d'éoliennes

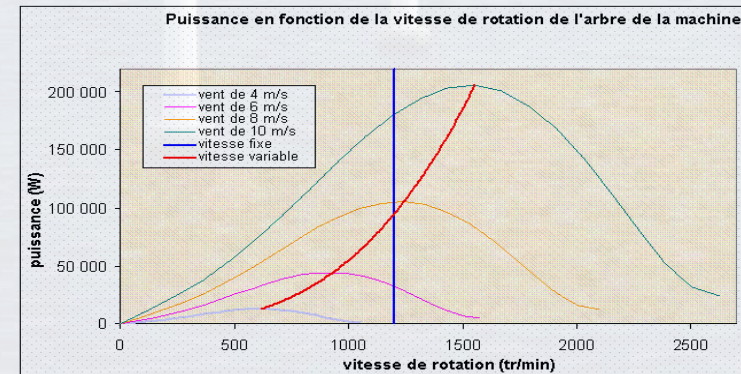
Éolienne à vitesse fixe

Éoliennes à vitesse variable



- augmenter le rendement énergétique
- diminuer les charges mécaniques et
- améliorer la qualité de l'énergie électrique produite

- La puissance débitée varie en fonction du vent et de la vitesse du générateur
- À vitesse fixe la puissance extraite n'est pas maximale
- Pour optimiser la puissance débitée en fonction du vent, il faut régler la vitesse de rotation de l'éolienne
- Le générateur à vitesse variable permet de récupérer un maximum de puissance 'Maximum Power Point Tracking'



# Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Composantes électriques dans la tour et dans la nacelle
- Schéma électrique d'une éolienne
- Connexion des machines asynchrones au réseau
- Connexion des machines synchrones au réseau
- Les technologies utilisées par les grands constructeurs
- Problématiques de la connexion au réseau
- ***Les éoliennes autonomes***
- Contraintes rencontrées en milieu nordique
- Conclusion

# Les éoliennes autonomes : Contexte d'utilisation

HORS RÉSEAU	AU RÉSEAU
<ul style="list-style-type: none"><li>- C'est un système et mode de vie conçue pour aider les gens à fonctionner sans le soutien d'une infrastructure à distance (électricité, eau potable, d'égout, de gaz, etc.)</li><li>- Près de 200 000 personnes au Canada vivent dans des communautés hors réseau</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- C'est un ensemble d'infrastructures énergétiques disponibles permettant d'acheminer l'énergie des centres de production vers les consommateurs.</li><li>- Les gens qui sont reliés au réseau électrique profitent souvent des tarifs avantageux par rapport aux communautés isolées (5 à 8 fois de moins).</li></ul>



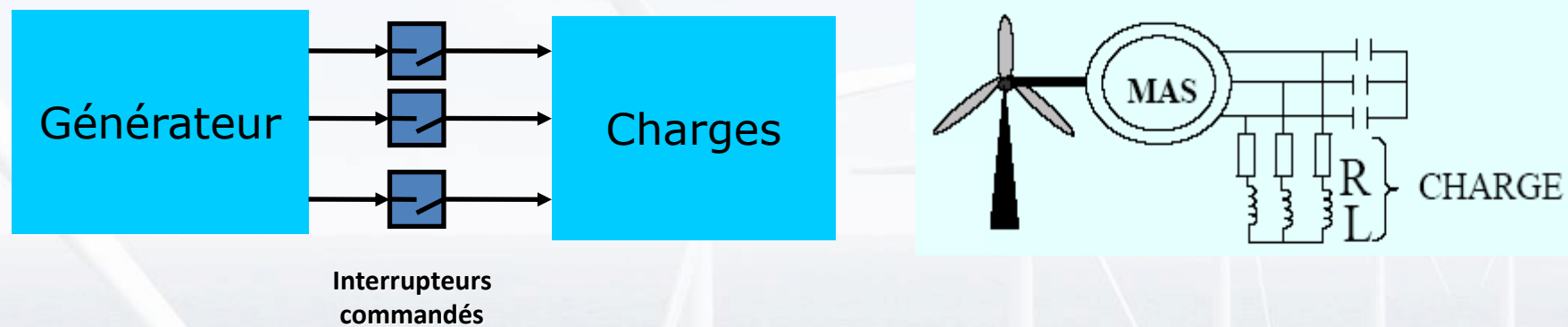
# Les éoliennes autonomes

- Les éoliennes autonomes sont utilisées pour :
  - Les sites reculés où l'installation d'un réseau électrique serait trop coûteuse
  - Remplacé le diesel plus coûteux
  - En complément des panneaux solaires pour de petites puissances
- Les défis techniques de l'éolienne autonome :
  - Tension variable
  - Fréquence variable
  - Nécessité d'une source de magnétisation de la MAS en tout temps



# Les éoliennes autonomes : Méthodes de commande

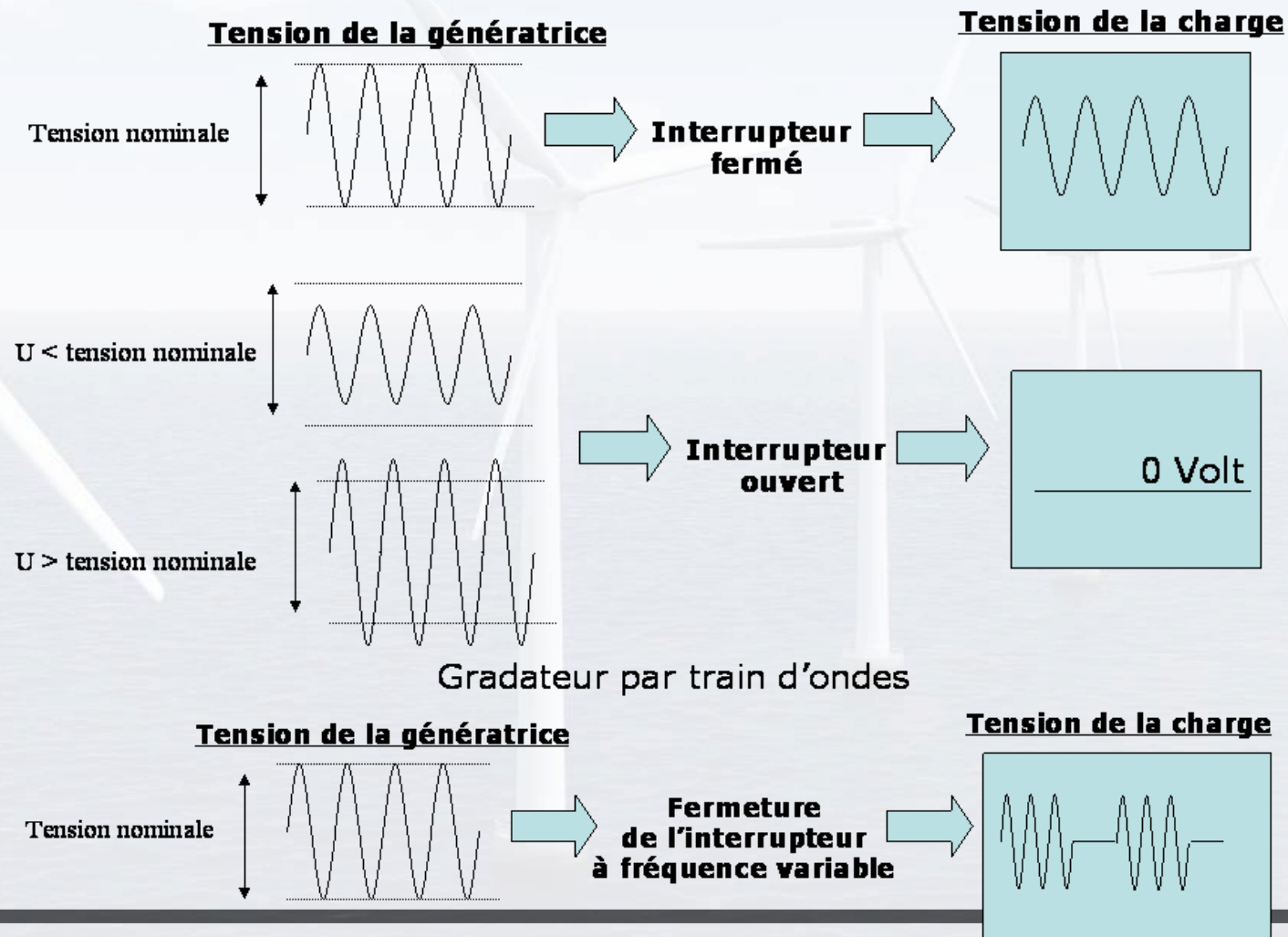
## ❖ Connexion directe



- Excitation par banc de condensateurs :
  - Risque de démagnétisation
  - Impossibilité d'utiliser des charges exigeantes en tension et en fréquence
  - Fonctionnement de vitesse sur une plage restreinte

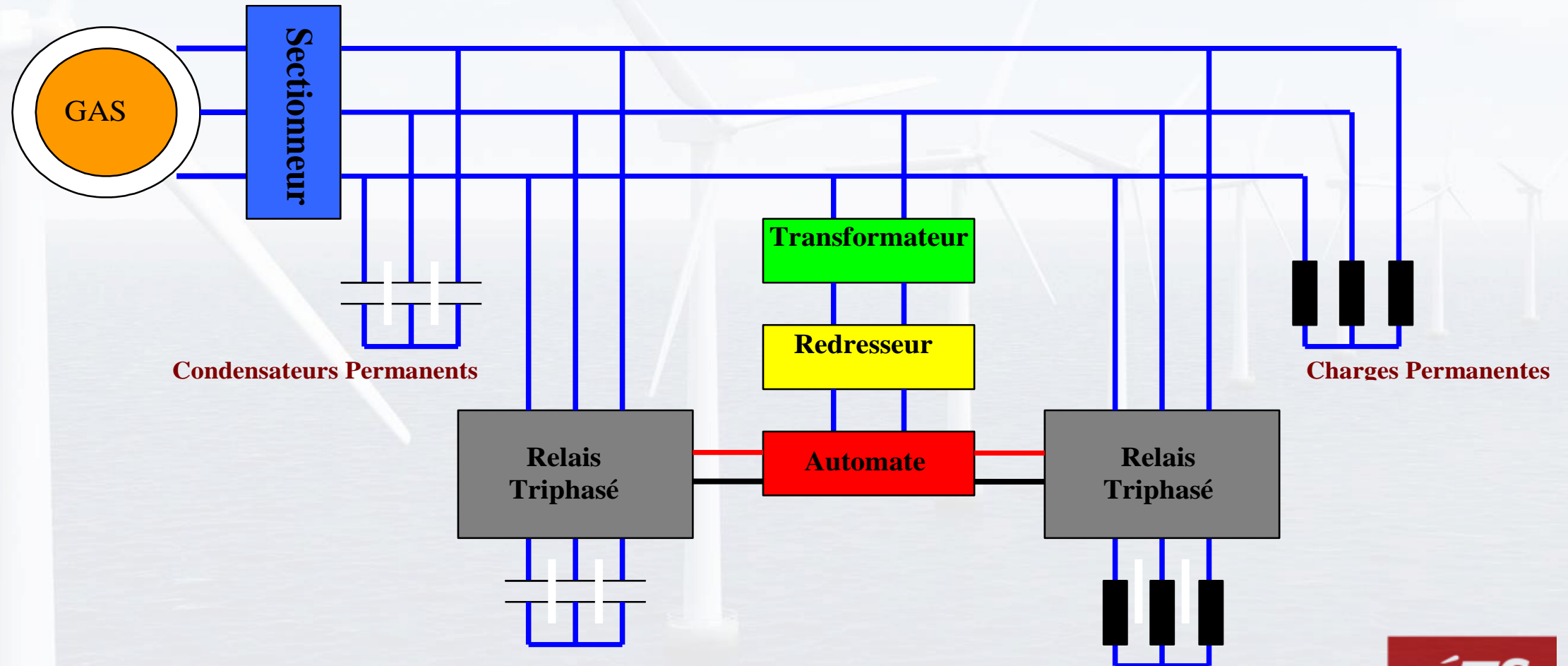
# Les éoliennes autonomes : Méthodes de commande

## ❖ Commande des interrupteurs



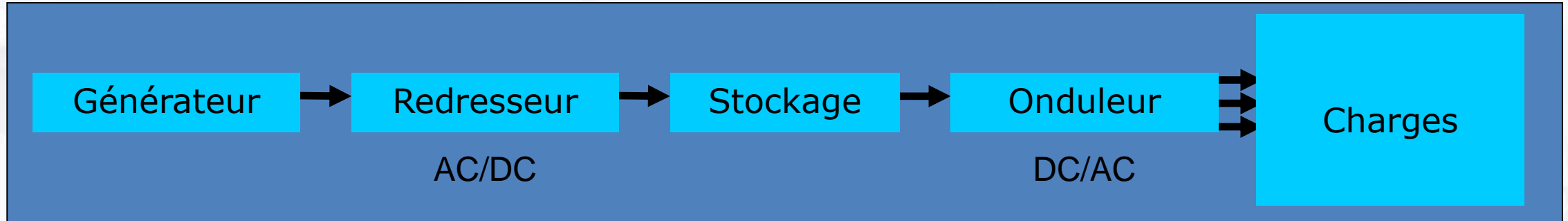
# Les éoliennes autonomes : Méthodes de commande

## ❖ Synoptique de puissance



# Les éoliennes autonomes : Méthodes de commande

## ❖ Avec accumulation de puissance



### • Avantages

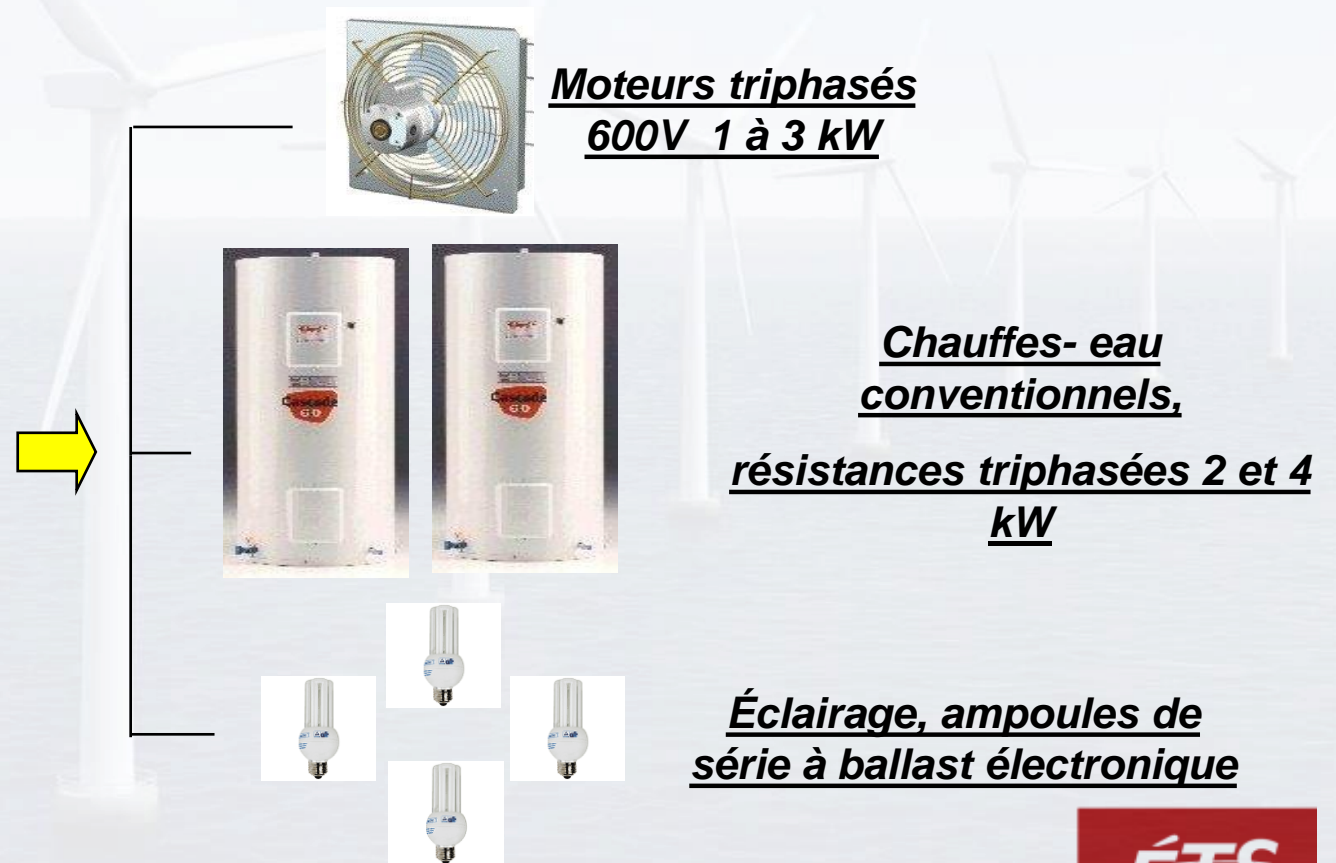
- Meilleure régulation en tension et en fréquence
- Gestion du transfert de puissance entre l'onduleur et le redresseur (régulation du bus continu) = placement au point de puissance optimum de l'éolienne
- Fonctionnement à vitesse variable
- Moins de défis au niveau du démarrage

### • Inconvénients

- Contrôle plus complexe
- Électronique de puissance (coûteux)
- Perte d'énergie dans le processus de conversion CA-CC-CA
- Défi au niveau de la réduction des harmoniques (=> commande MLI)

# Les éoliennes autonomes : Exemple d'utilisation

- ❖ Eolienne autonome type 35 kW (installée à l'Institut Maurice Lamontagne Rimouski)



# Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Composantes électriques dans la tour et dans la nacelle
- Schéma électrique d'une éolienne
- Connexion des machines asynchrones au réseau
- Connexion des machines synchrones au réseau
- Les technologies utilisées par les grands constructeurs
- Problématiques de la connexion au réseau
- Les éoliennes autonomes
- ***Contraintes rencontrées en milieu nordique***
- Conclusion

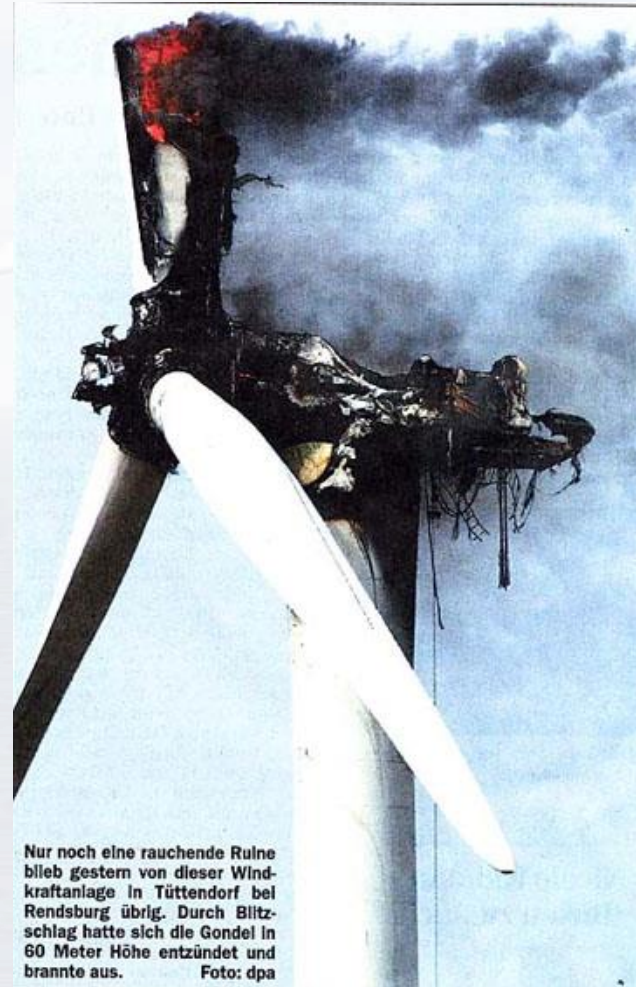
# Contraintes rencontrées en milieu nordique

- Comme pour les autres domaines d'étude, celui électrique est soumis à des contraintes imposées par les conditions rencontrées en milieu nordique.
  - ❖ Les basses températures :
    - Affectent les équipements électriques (générateurs, système d'orientation de la nacelle, moteurs et transformateurs).
  - ❖ L'humidité et la condensation :
    - Provoquent des étincelles électriques.

# Contraintes rencontrées en milieu nordique

## ❖ Le givre :

- Détérioration des lignes de transport d'électricité : un dégivrage est nécessaire.
- Dommages sur les génératrices qui peuvent brûler en cas de givre sur les pales.



# Plan de cette présentation

- Introduction et objectifs
- Composantes électriques dans la tour et dans la nacelle
- Schéma électrique d'une éolienne
- Connexion des machines asynchrones au réseau
- Connexion des machines synchrones au réseau
- Les technologies utilisées par les grands constructeurs
- Problématiques de la connexion au réseau
- Les éoliennes autonomes
- Contraintes rencontrées en milieu nordique
- ***Conclusion***

# Conclusion

- Les méthodes de connexion sont donc nombreuses et dépendent de l'application faite.
- Les différents constructeurs n'utilisent pas les mêmes méthodes.
- Les méthodes de connexion des éoliennes autonomes sont propres à cette application.
- Pour mieux visualiser la position des générateurs électriques et les différentes étapes d'acheminement de l'électricité de l'éolienne aux postes de consommation : <https://www.youtube.com/watch?v=v6ZNDQ80ELE&t=141s> (de 1'05'' à 1'50'')

**MERCI POUR VOTRE ATTENTION !**



# MERCI



## Questions ?

Hussein IBRAHIM, Ph.D  
Tél: 418-962-9848 # 340  
[cc-hussein.ibrahim@etsmtl.ca](mailto:cc-hussein.ibrahim@etsmtl.ca)  
[Hussein\\_ibrahim01@uqar.ca](mailto:Hussein_ibrahim01@uqar.ca)  
[Hussein.ibrahim@itmi.ca](mailto:Hussein.ibrahim@itmi.ca)