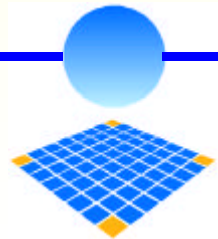


Pompage photovoltaïque au fil du soleil

Thierry MARTIRÉ*, Charles JOUBERT*,
Christian GLAIZE*, Benoît ROUVIÈRE**

* Laboratoire d'Électrotechnique de Montpellier

** Apex Ingénierie/ BP SOLAR, Montpellier



Recherches en "Électricité Verte" au LEM

Véhicule Électrique (convertisseurs, chargeurs, batteries, actionneurs)

->

Énergies renouvelables (photovoltaïque, éolien, stockage)

Économie d'énergie en éclairage urbain

Point de départ

Accroissement de l'agriculture dans les PEVD

⇒ **Irrigation**

Eau profonde

⇒ **Plus forte puissance**

Proposition de solution

Source d'énergie : panneaux photovoltaïques

Stockage de l'eau

⇒ pas d'accumulateurs électrochimiques

Pompage "au fil du soleil"

Choix de matériel

Pompe centrifuge

~~Moteur à courant continu en surface~~

Moteur asynchrone triphasé immergé

- sur étagères (tension standard, modèles différents)
- sans capteurs

Caractéristique de l'onduleur

Ensoleillement variable

⇒ **Puissance variable**

⇒ **Vitesse variable**

Puissance ...8kW

Couplage des panneaux

Puissance 8kW

⇒ environ 100 panneaux

Mise en série (pas de //) : 1.500 V en charge

⇒ Mise en parallèle (directe ou indirecte)

LEM

LABORATOIRE D'ÉLECTROTECHNIQUE DE MONTPELLIER

2 (+ 1) approches

1^{ère} approche

Couplage série HT de panneaux :

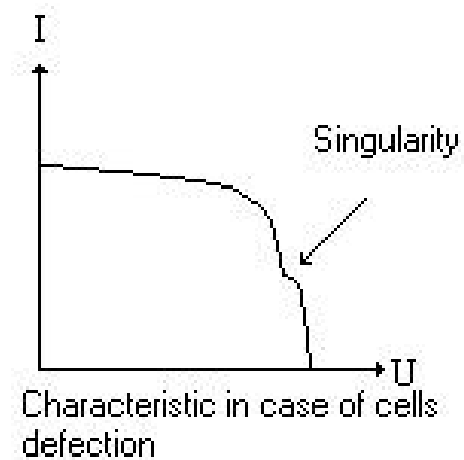
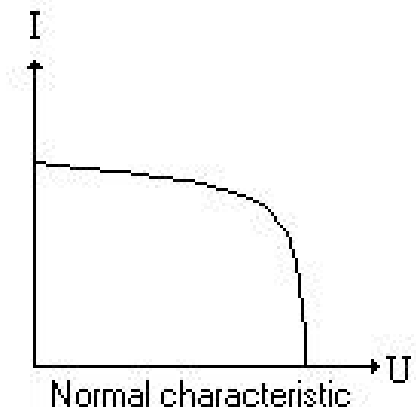
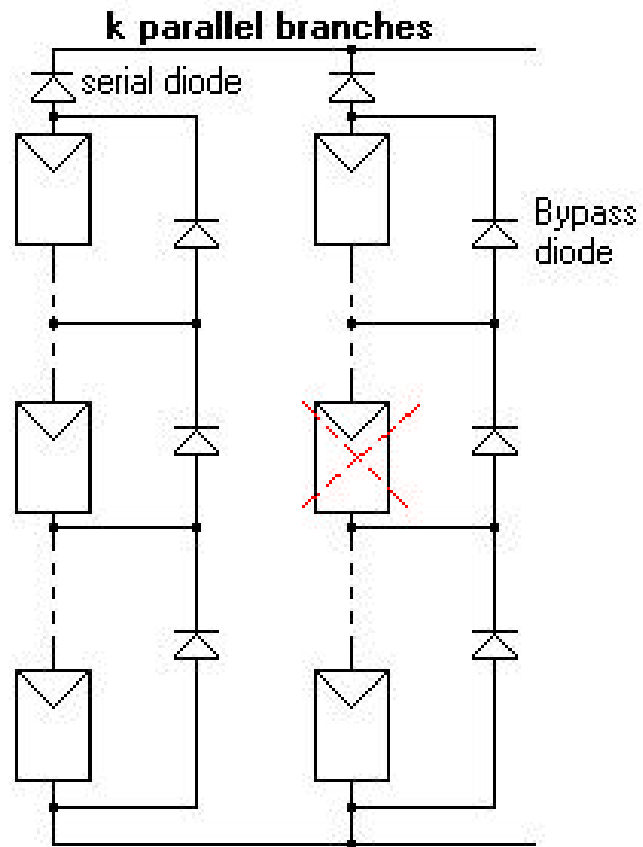
» 485 V à vide, » 330 V en charge

Quelques branches en parallèle

⇒ MPPT global : risque² de perte de puissance

1 seul onduleur (sans transfo)

⇒ Machines 230 V



2^{ème} approche

Couplage série BT des panneaux
(» 150 V à vide, » 96 V en charge)

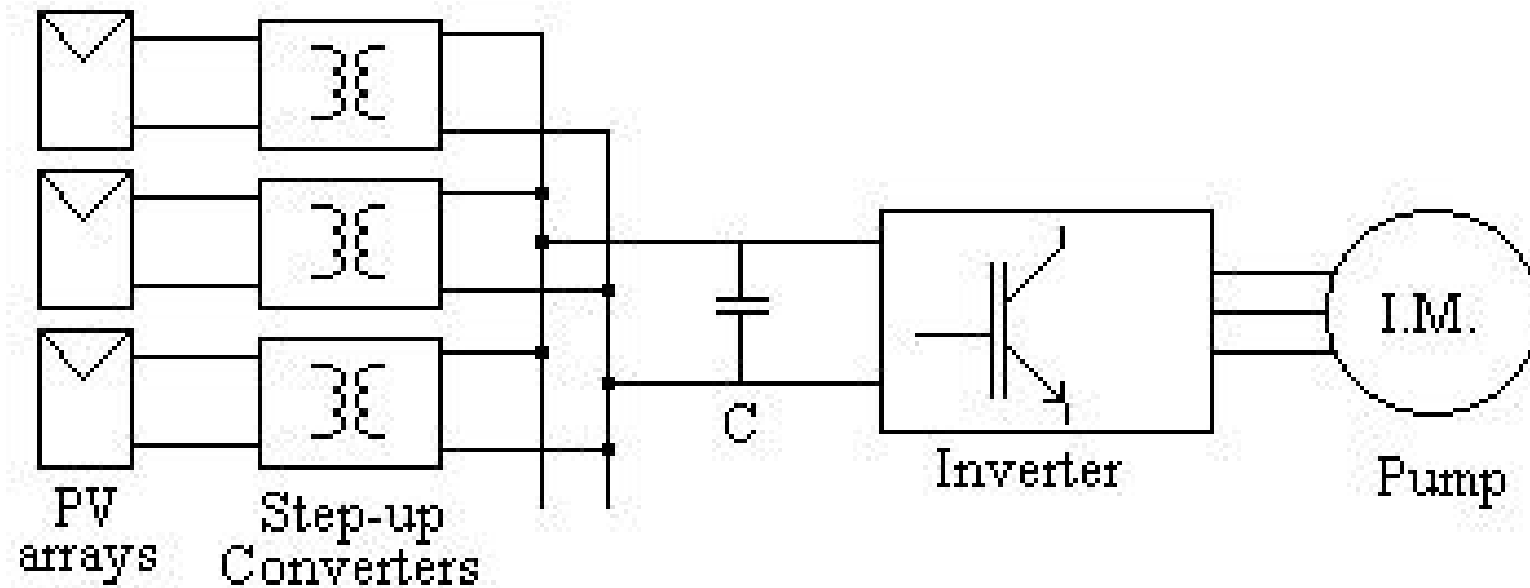
Aucune mise en parallèle directe de branches

Convertisseurs (» 1 kW) et bus continu

Si hacheurs élévateurs, bus 600 V => Machines 400 V

Chaque chaîne de panneau peut délivrer sa puissance maximale

Augmentation de la redondance, fiabilité



3^{ème} approche (futur)

1 panneau (ou quelques panneaux en série) +
hacheur élévateur + onduleur (petite centaine de
W à quelques centaines de W)

Aucune mise en parallèle de branches

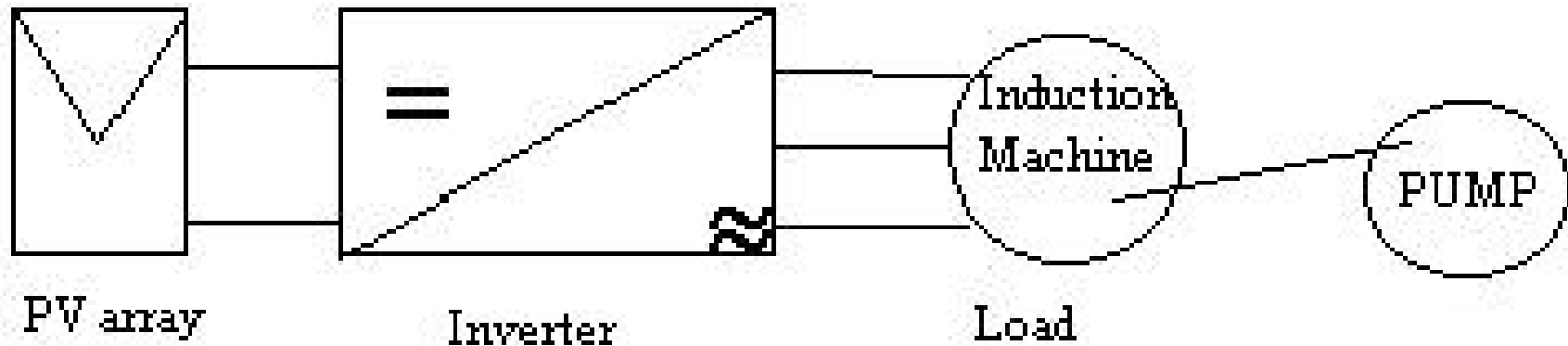
Mise en parallèle des sorties des onduleurs

Chaque (chaîne de) panneau peut délivrer
sa puissance maximale

Retour sur la 1^{ère} approche

Couplage série HT de panneaux :
» 485 V à vide, » 330 V en charge

1 seul onduleur (sans transfo), machine 230 V



Stabilité du système

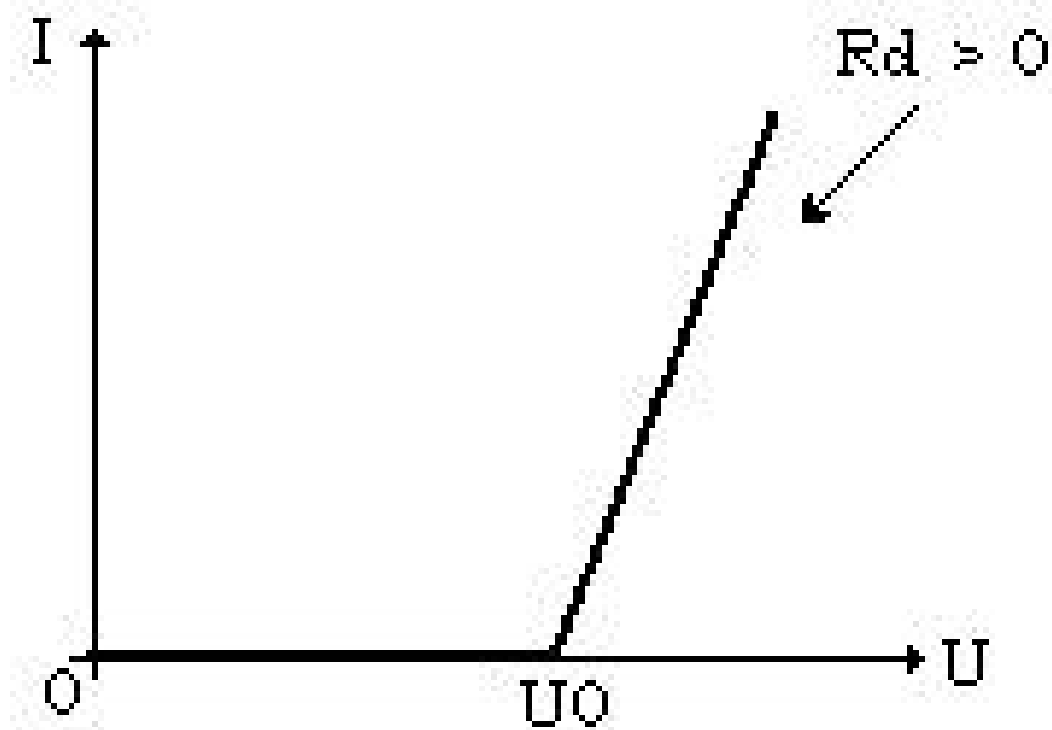
Fonctionnement à puissance constante

⇒ Résistance dynamique négative

+ L, C

⇒ Risque d'oscillations

Introduction d'un mode de pilotage de la machine en $U_0 + RI$



Choix des paramètres U_0 et R

1ère approche : HT

Choix des paramètres U_0 et R (figures Excel)

$U_0 = 0 \Rightarrow R$ varie \Rightarrow
modification des paramètres de l'asservissement

$R = 0 \Rightarrow U_0$ varie \Rightarrow
petite variation de U_0 peut entraîner
de grandes variations du courant

Choix $R = \text{Cte} \Rightarrow$ commande de U_0

Contrôle de U_0 :

Asservissement extrémal

**Limitation inférieure de U_0
pour alimentations**

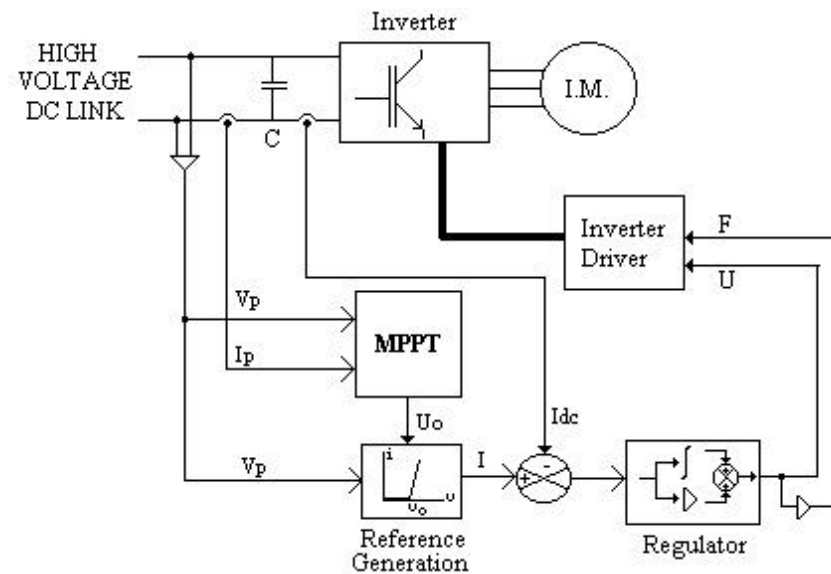
**Variations « lentes » de U_0
pour éviter oscillations mécaniques
(inertie de la pompe et de la colonne d'eau)**

(...)

1ère approche : HT

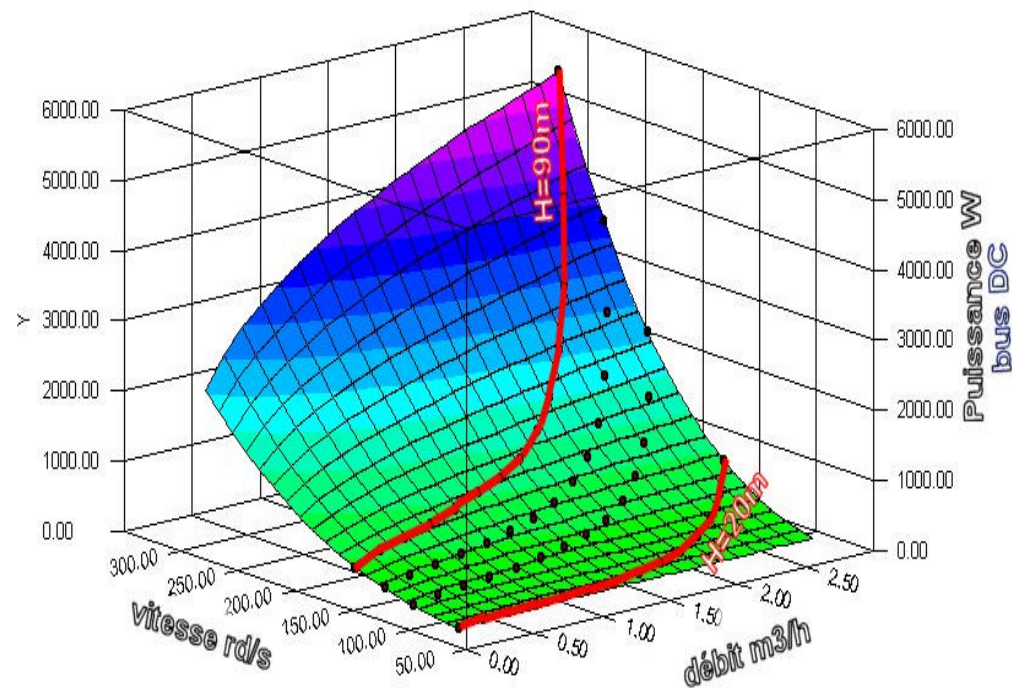
2 Boucles d'asservissement :

- boucle de courant (asservissement classique ; régulateur PI)
- recherche du MPPT (asservissement extrémal)



Modélisations – Simulations

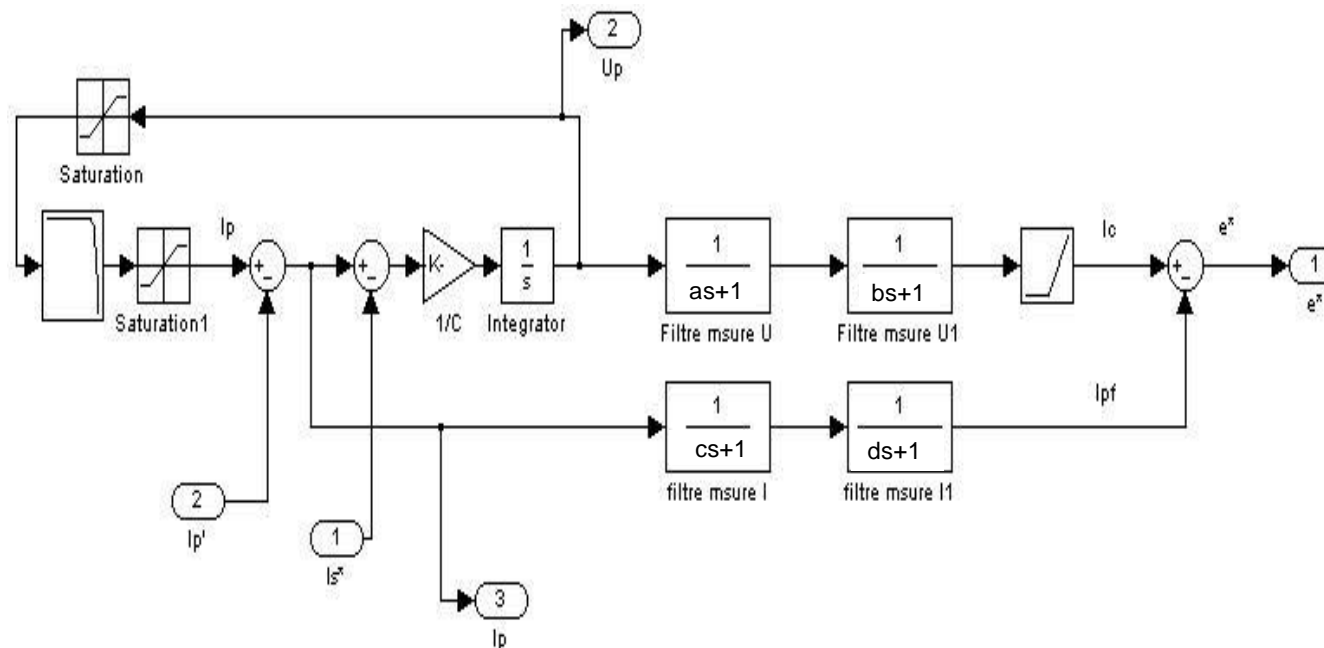
1/ statique : dimensionnement



1ère approche : HT

Modélisations – Simulations

2/ dynamique : comportement dynamique, étude de la stabilité

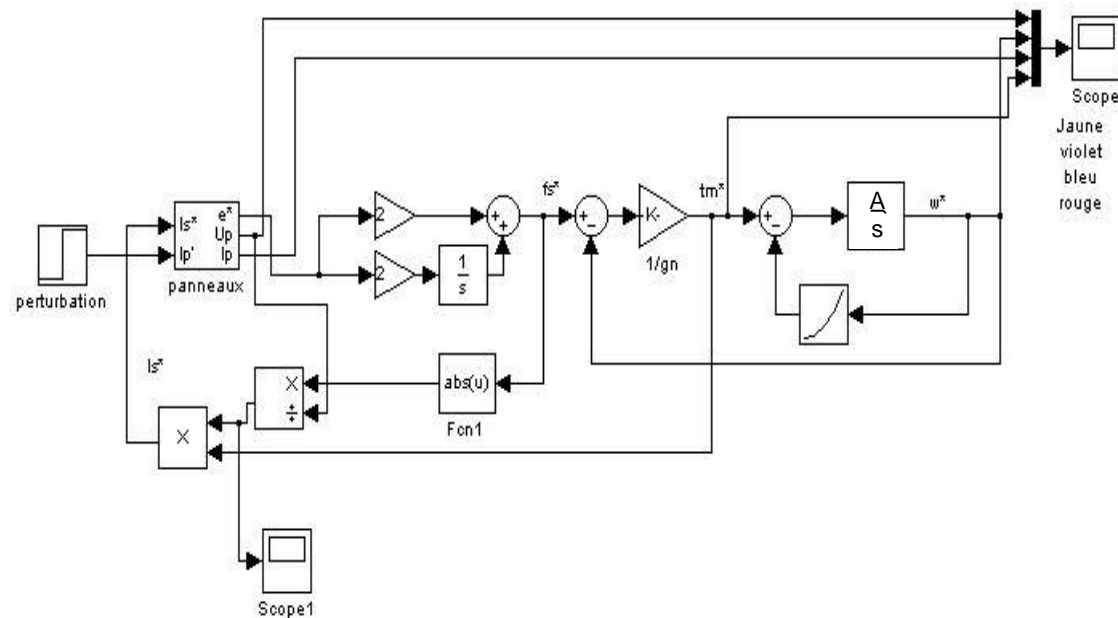


Modèle "DC" : panneau -> entrée onduleur

1ère approche : HT

Modélisations – Simulations

2/ dynamique : comportement dynamique, étude de la stabilité

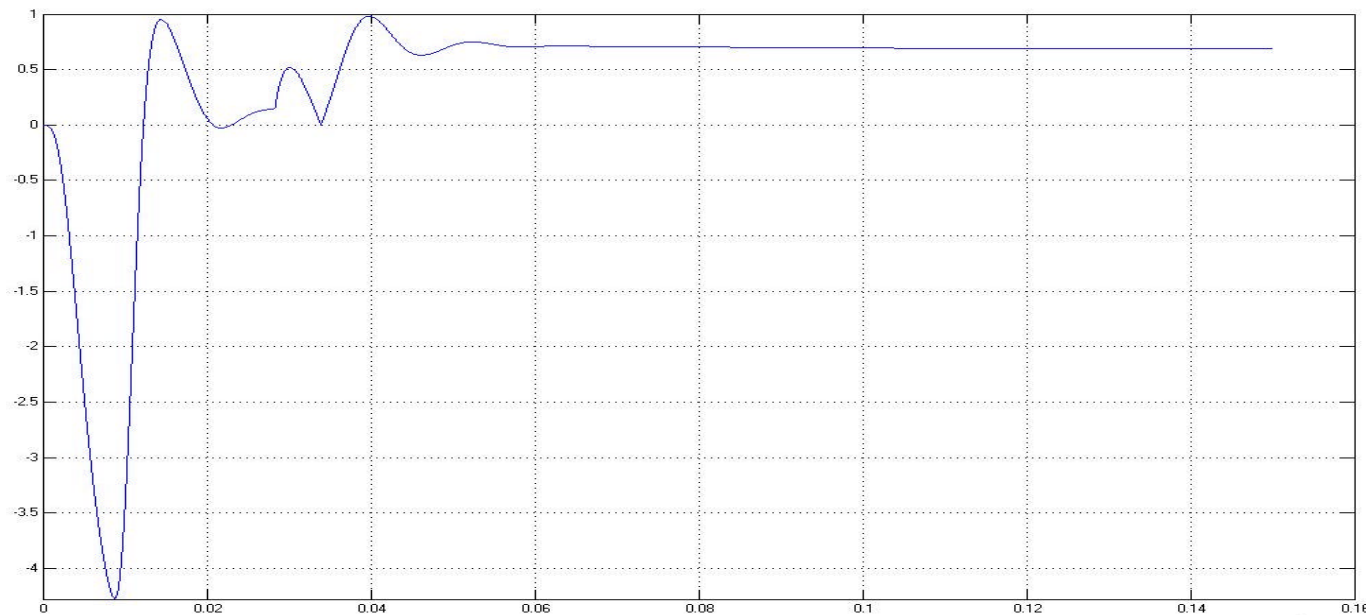


Modèle "AC" : onduleur - pompe

1ère approche : HT

Modélisations – Simulations

2/ dynamique : comportement dynamique, étude de la stabilité

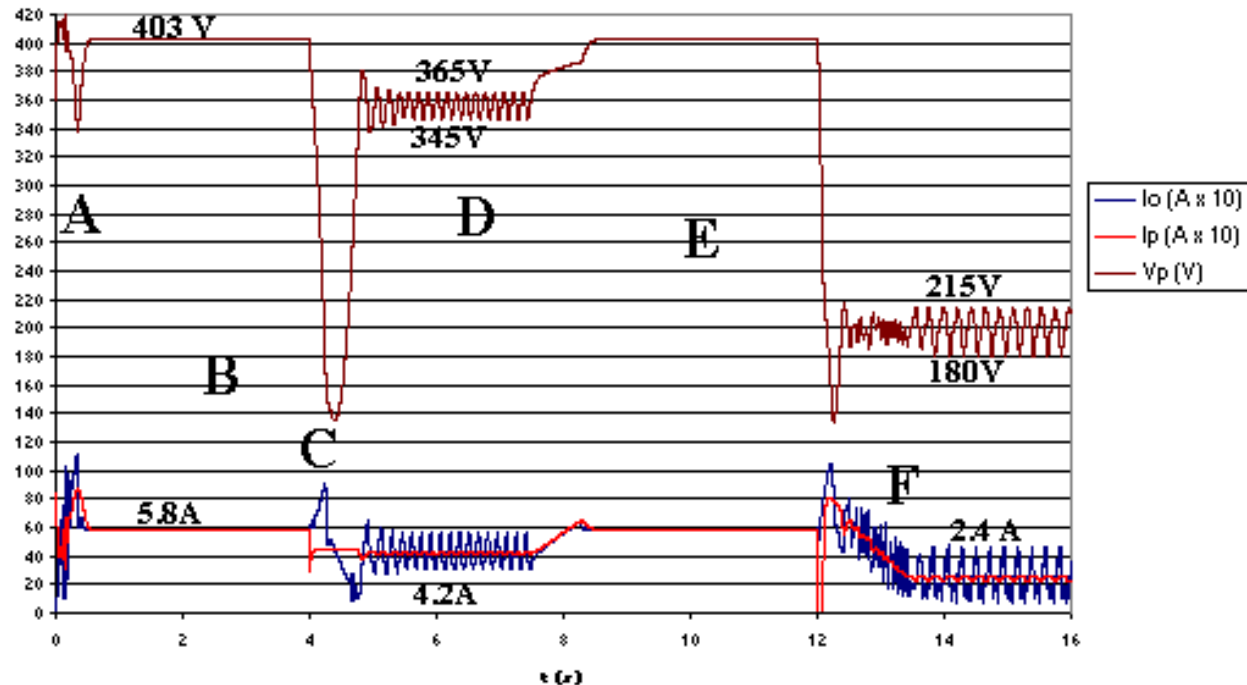


Courant / échelon d'ensoleillement

1ère approche : HT

Modélisations – Simulations

2/ dynamique : comportement dynamique, étude de la stabilité



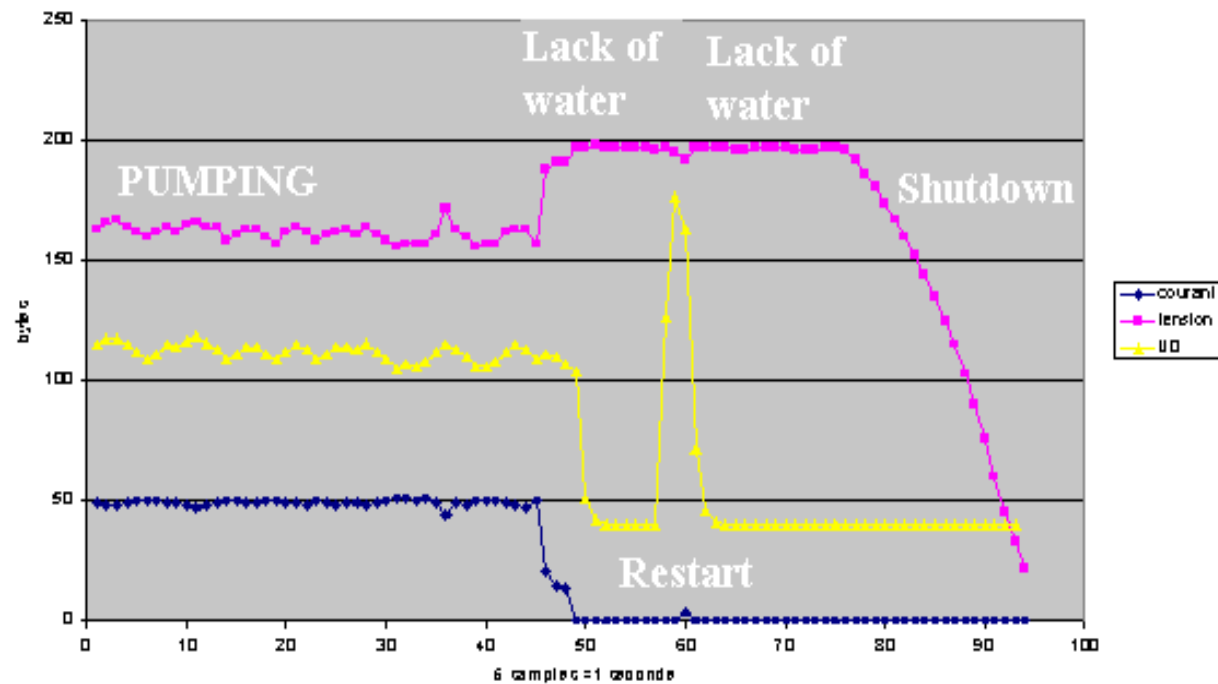
Comportement du système

1ère approche : HT

Expérimentation

France,... Mali, Cap Vert, Tchad

Vdc, Idc and U0 as seen by the control system



1ère approche : HT

Retour sur la 2^{ème} approche

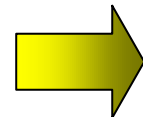
**Couplage série BT des panneaux
(» 150 V à vide, » 96 V en charge)**

**Mise en parallèle de sortie
de hacheurs élévateurs,
bus 600 V, machine 400 V**

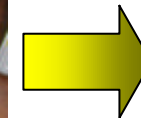
Chaque convertisseur cherche le PPM de sa branche
⇒ fonctionnement optimal de chaque branche donc de tous les
panneaux



+ (n fois)



600 V =

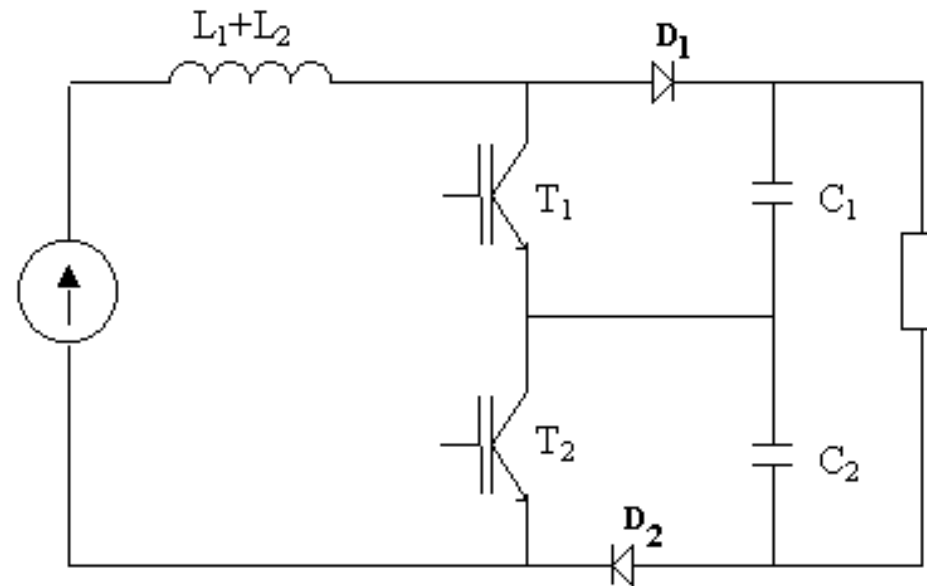


400 Volts Tri

2^{ème} approche : mise en //

Hacheurs élévateurs multiniveaux

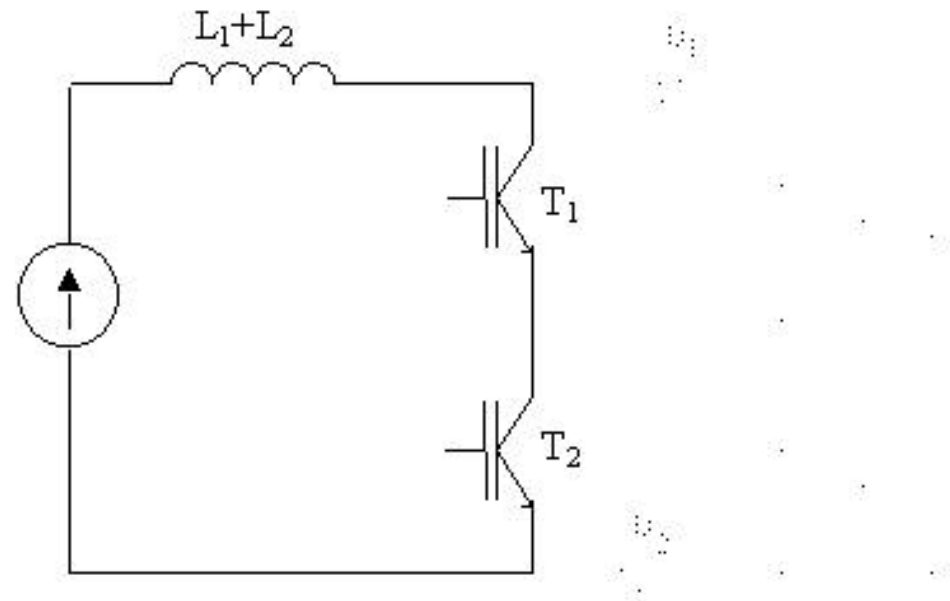
Rapport de transformation (2*3)



Calibre en tension et en courant réduits pour les interrupteurs

Composants magnétiques plus petits

2^{ème} approche : mise en //



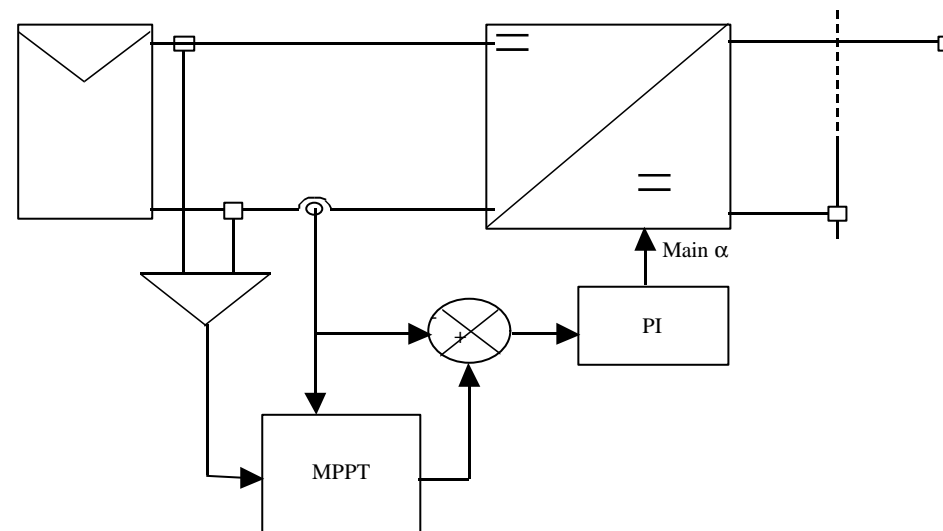
Séquences de commutation

2^{ème} approche : mise en //

Mise en // des sorties

⇒ pilotage du courant d'entrée de chacun des hacheurs

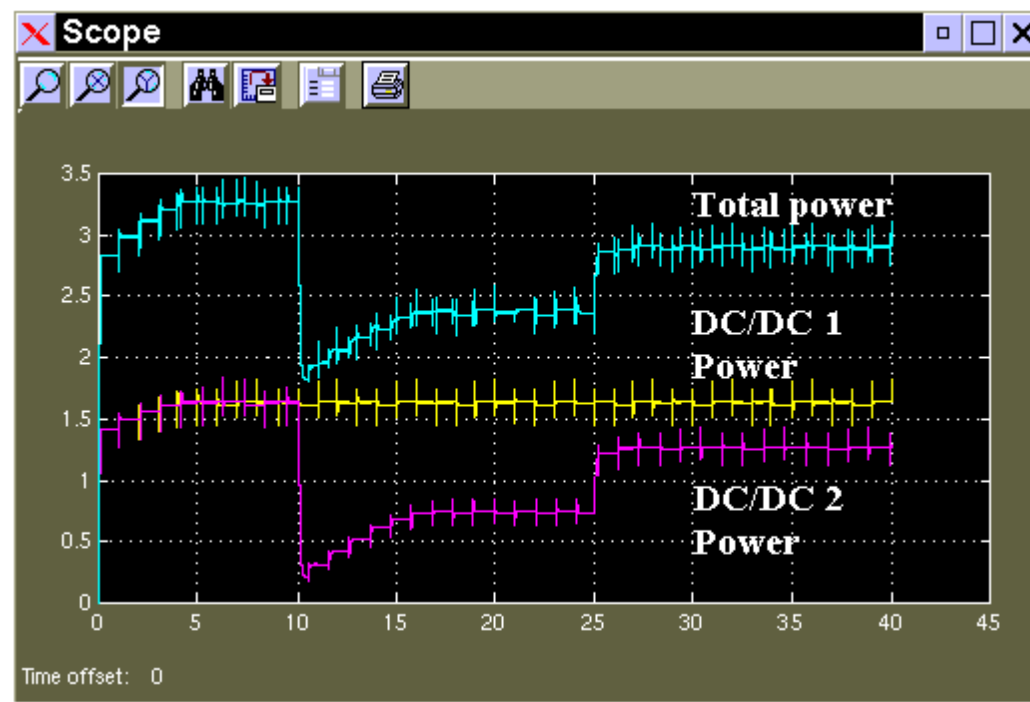
MPPT indépendante pour chacun des hacheurs



Pas de batteries =>
interdépendance des convertisseurs

2^{ème} approche : mise en //

Modélisations – Simulations (In-)dépendance entre convertisseurs



CONCLUSION

Fil du soleil => pas de batteries => difficultés

- Problèmes de stabilité résolus**
- MPPT innovant : action sur la caractéristique de l'onduleur**
- Faisabilité de systèmes multi-convertisseurs sans batterie**

AVENIR

**Continuer travaux sur 2^{ème} approche :
mise en // de convertisseurs**

**Continuer travaux sur 3^{ème} approche :
1 panneau (ou quelques panneaux en série) +
hacheur élévateur +
onduleur (petite centaine de W à quelques centaines de W
+ mise en parallèle des sorties des onduleurs**