

Les modules autonomes

Approche système, bilan
énergétique et application
à un petit système
photovoltaïque

Julien Werly, ingénieur plateau technique

Le CRT CRESITT est soutenu par



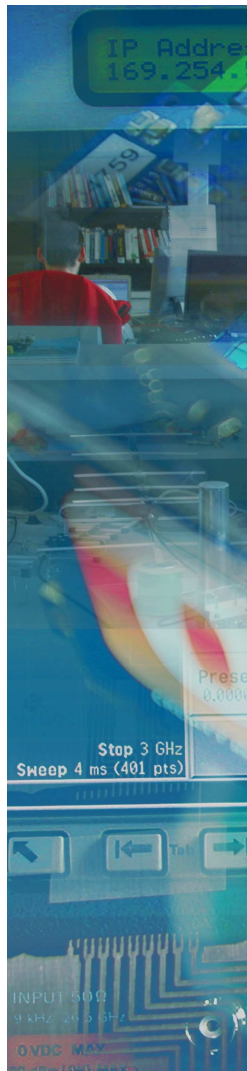
Le CRT CRESITT

- ▶ Centre de Ressources Technologiques labellisé
- ▶ Notre métier : l'électronique
- ▶ Partenaire de Polytech'Orléans
- ▶ Membre actif du pôle de compétitivité S2E2
- ▶ Nos activités :
 - Diffusion technologique, séminaires, ingénierie de projets,...
 - R&D et conseil en technologie : veille, conseil, études, projets, démonstrateurs, formation
- ▶ Nos axes de développement :
 - Électronique embarquée
 - Technologies wireless et RFID
 - Systèmes autonomes, gestion de l'énergie
 - Vision industrielle



Les modules autonomes

- ▶ Un module autonome, en énergie et en action, est un système capable de réaliser des tâches sans aucune assistance extérieure.
- ▶ Il doit pour cela répondre à 2 critères :
 - L'automatisation des tâches à effectuer
 - L'autosuffisance énergétique



Les modules autonomes

► Pour concevoir un système électronique complet, il faut :

- Le cahier des charges :

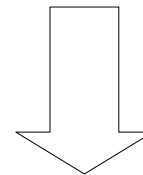
Quel est notre besoin ?

- Système :

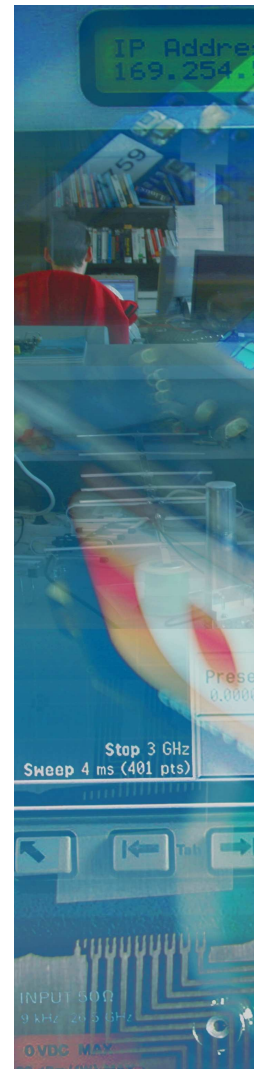
Comment va-t-on le réaliser ?

- Dans le cas du système autonome :

Comment et combien je consomme ?



Le bilan énergétique



Sommaire

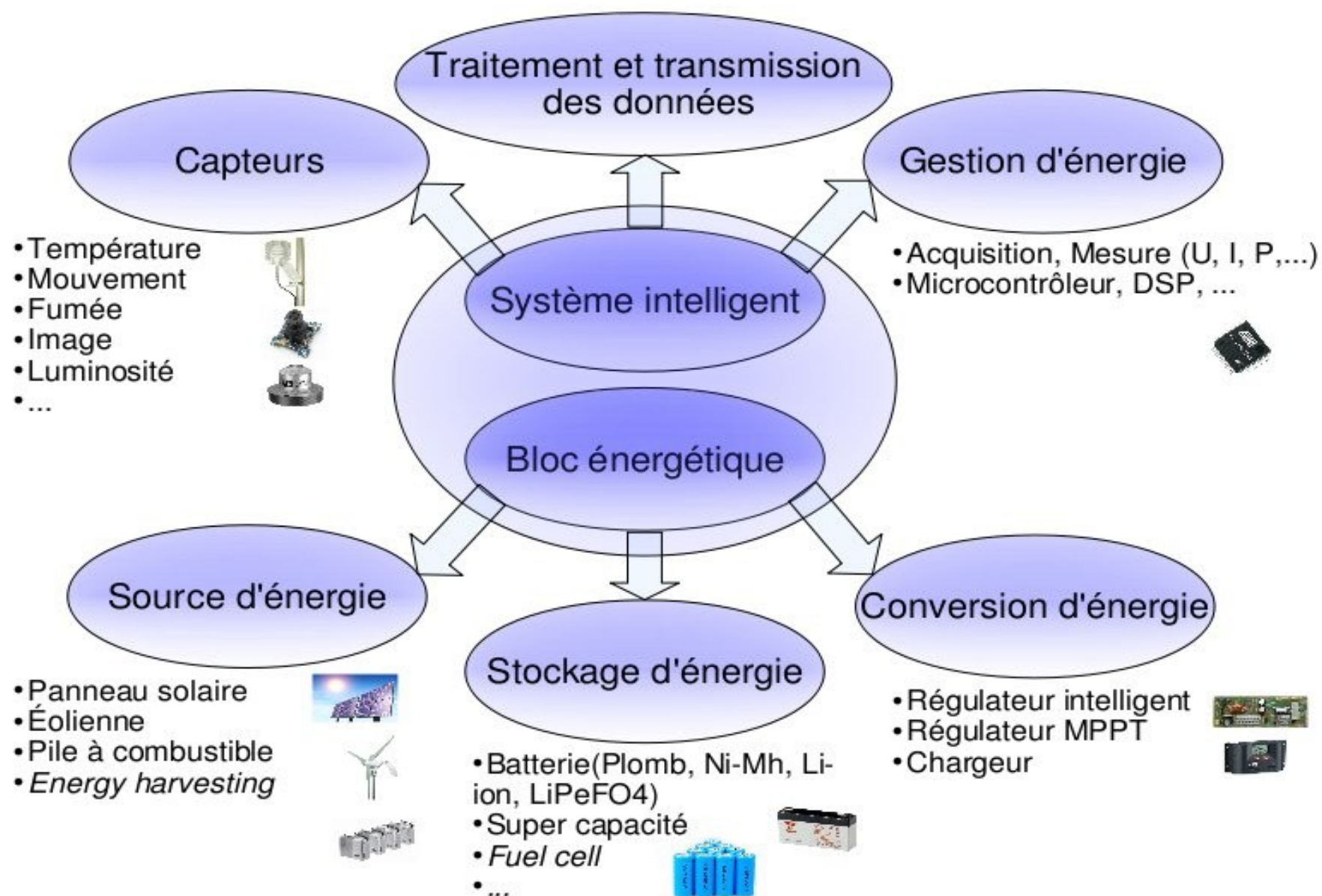
- ▶ 1) Approche système
- ▶ 2) Bilan énergétique
- ▶ 3) Exemple d'un système autonome



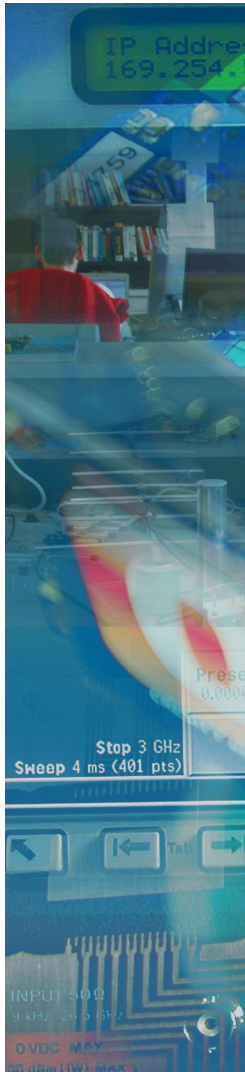
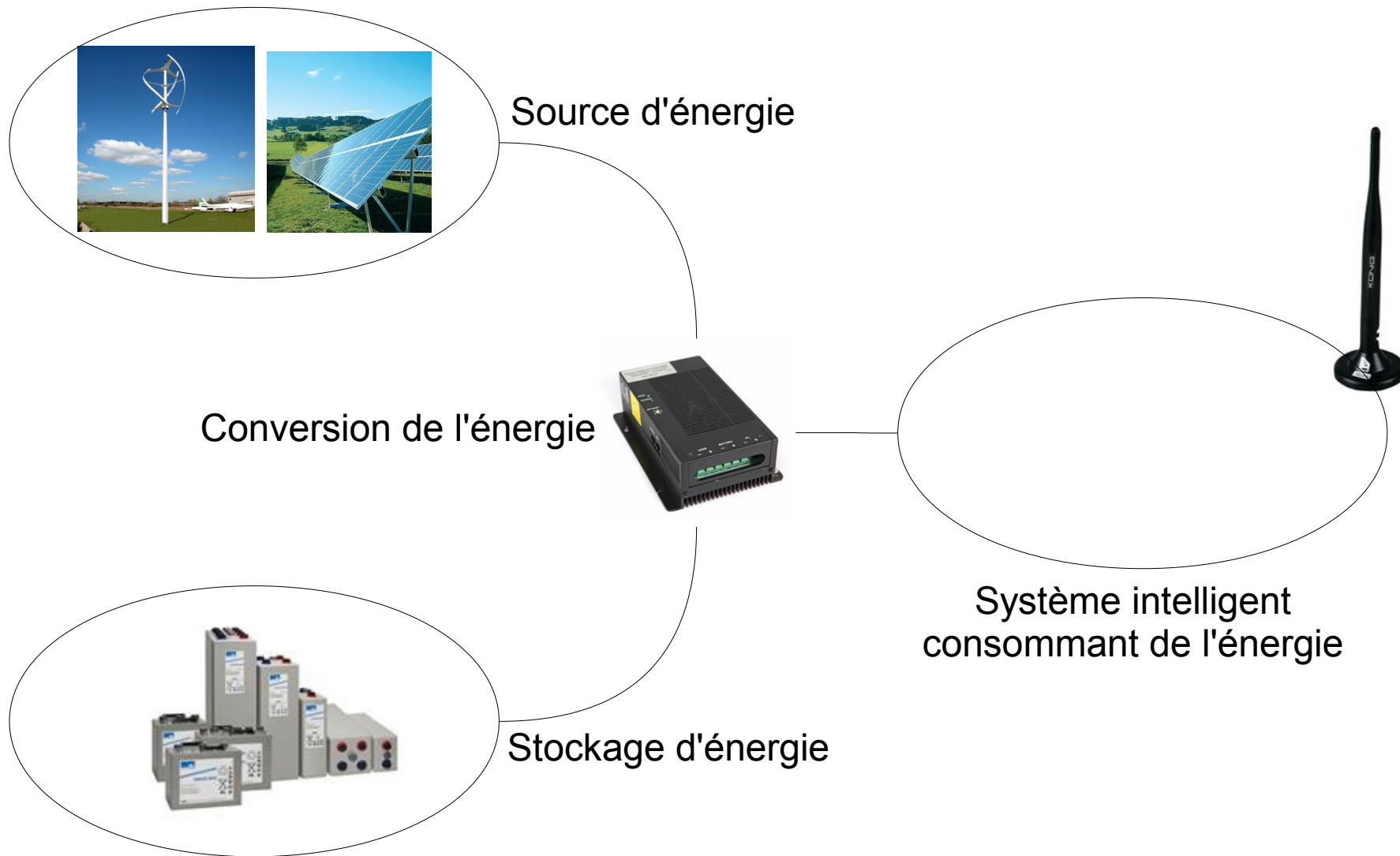
- ▶ 1) Approche système
- ▶ 2) Bilan énergétique
- ▶ 3) Exemple d'un système autonome



Approche système



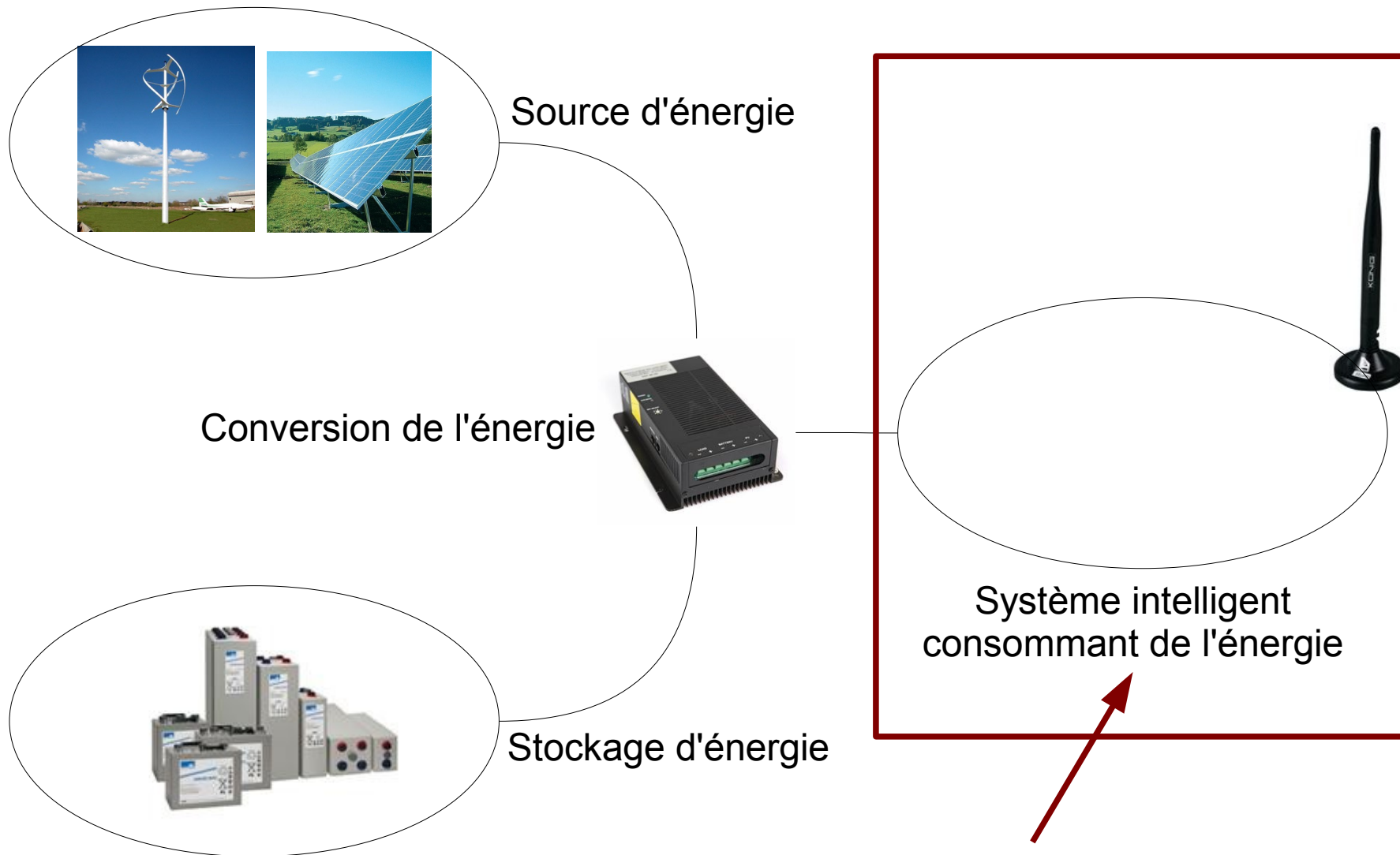
Approche système



- ▶ 1) Approche système
- ▶ 2) Bilan énergétique
- ▶ 3) Exemple d'un système autonome



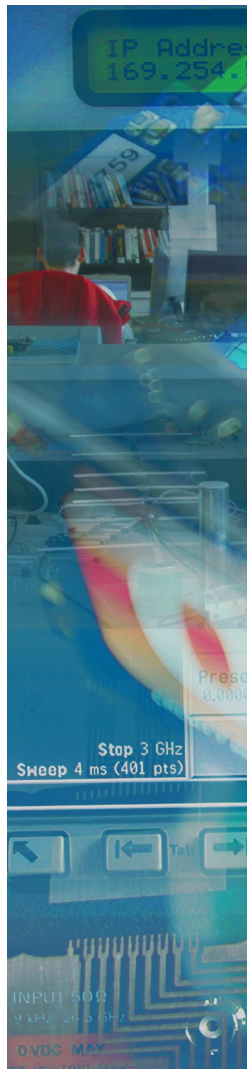
Approche système



Le bilan énergétique consiste à déterminer la quantité ainsi que la façon de consommer de l'énergie

Bilan énergétique

- ▶ I Les modes de fonctionnement du système
- ▶ II Fréquence et durée d'utilisation
- ▶ III Calcul de la consommation énergétique
- ▶ IV Qu'est-ce qu'un système autonome performant ?



Bilan énergétique

- ▶ **BUT** : Évaluer la consommation d'un système dans son fonctionnement global
- ▶ **DONNEES NECESSAIRES** :
 - Les modes de fonctionnement des éléments
 - Consommation des éléments dans chaque mode
 - Durée de fonctionnement
- ▶ **OBJECTIF** : Déterminer la puissance et la nature des sources d'énergie nécessaires à l'alimentation et l'autonomie du système



Bilan énergétique

► Les modes de fonctionnement du système

Un mode de fonctionnement est une phase où la consommation du système est constante

Arrêt

0 Ampère !!!

Veille

D'une dizaine de nA au μ A

Actif

Diffère en fonction de la tâche accomplie

Bilan énergétique

► Les modes de fonctionnement du système

► Mode arrêt

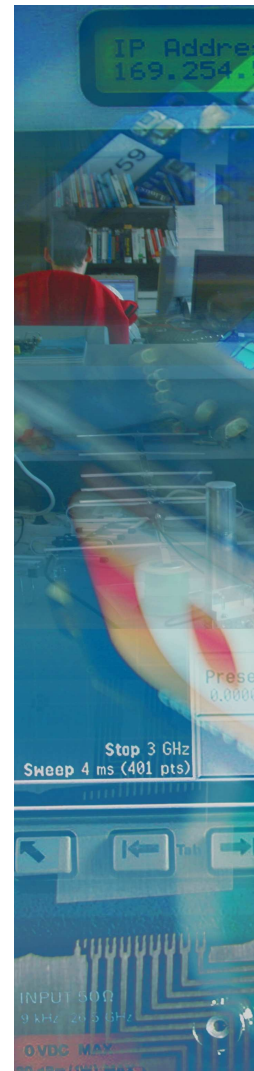
Le système est totalement non alimenté. Seule une action manuelle / externe peut le faire entrer en fonctionnement :

- Bouton
- Relais
- Tag RFID

► Mode veille

Le système attend un événement pour se réveiller :

- Bouton / Relais / Tag RFID
- Temps de veille écoulé
- Changement d'état d'une entrée du μ contrôleur
- ...



Bilan énergétique

► Les modes de fonctionnement du système

► Mode actif

Ce mode réalise des actions définies lors de la rédaction du cahier des charges. Il peut réaliser par exemple :

- l'acquisition des valeurs des capteurs
- traiter des informations
- transmettre des données
- ...

Il y a donc plusieurs modes actifs.

Bilan énergétique

► Fréquence et durée d'utilisation



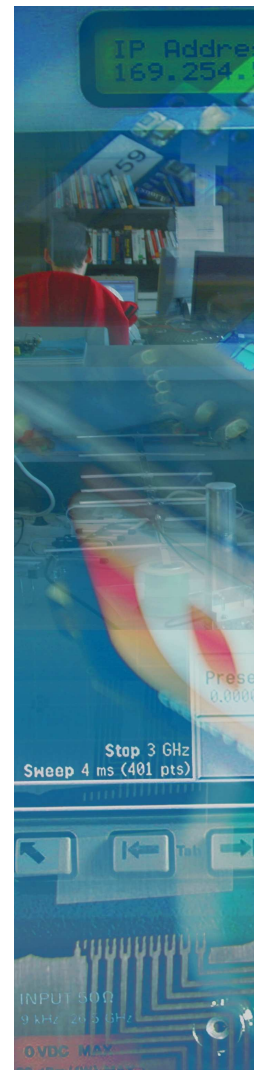
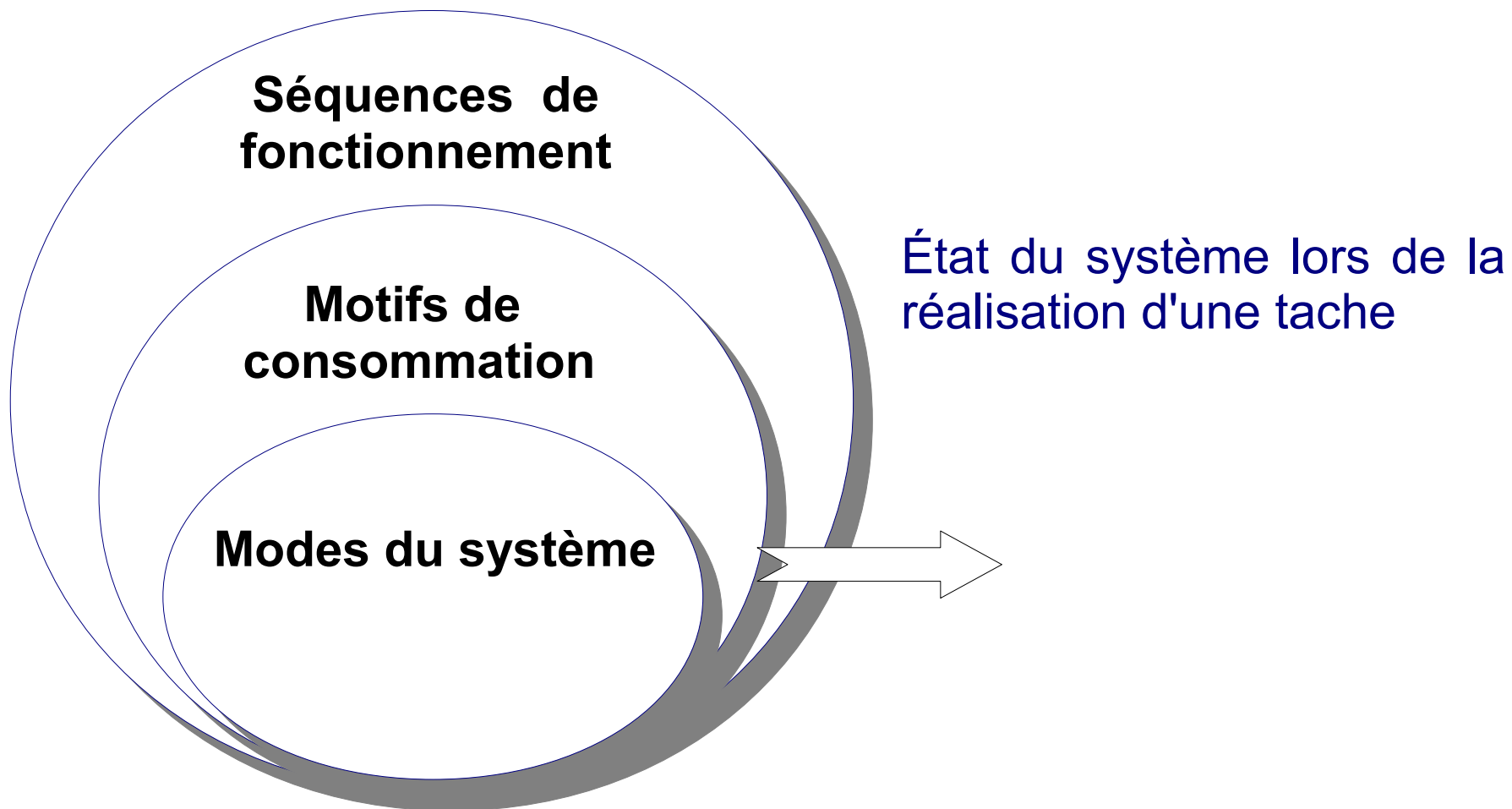
**Séquences de
fonctionnement**

**Motifs de
consommation**

Modes du système

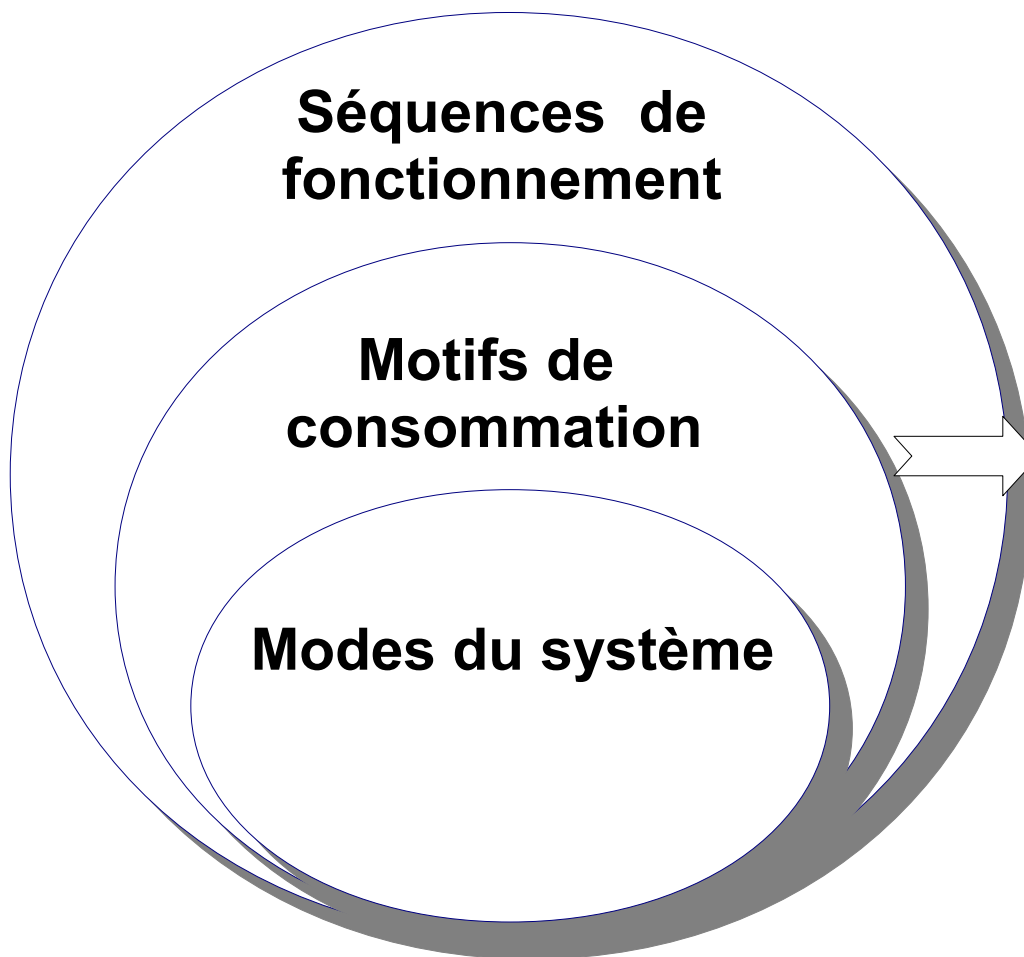
Bilan énergétique

► Fréquence et durée d'utilisation

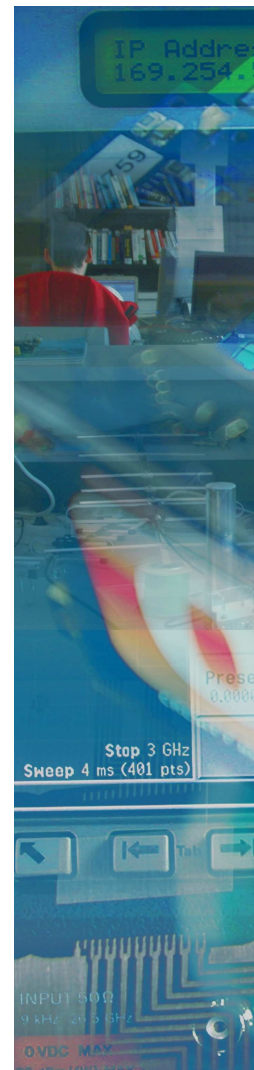


Bilan énergétique

► Fréquence et durée d'utilisation



Courbes représentant la consommation du système lors de ses différentes phases de fonctionnement



Bilan énergétique

► Fréquence et durée d'utilisation

**Séquences de
fonctionnement**

**Motifs de
consommation**

Modes du système

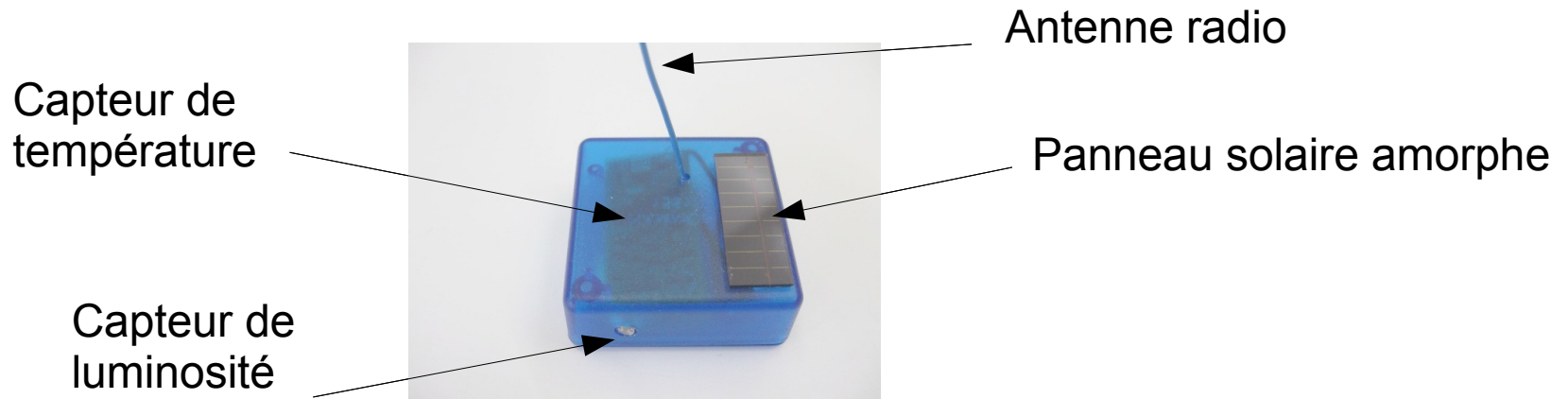
Série d'actions se renouvelant à une certaine fréquence et dans un ordre déterminé.

Bilan énergétique

► Fréquence et durée d'utilisation

Exemple de système autonome :

Capteur de température et de luminosité *indoor* avec transmission radio



Cahier des charges simplifié:

- Mesures réalisées une fois par seconde.
- Traitement des données (moyenne des 10 valeurs) et transmission par liaison radio toutes les 10s.

Bilan énergétique

► Fréquence et durée d'utilisation

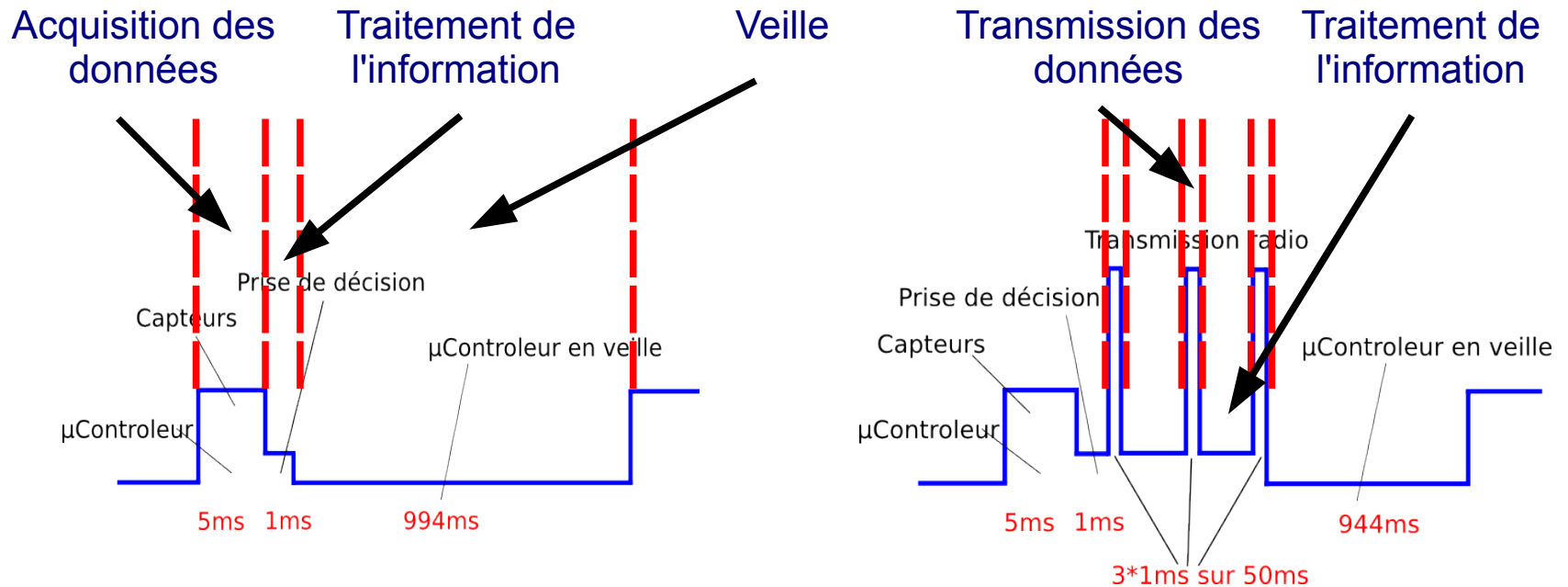
► Les modes de fonctionnement sont :

- Mode veille
- Mode actif 1 : Acquisition des données
- Mode actif 2 : Traitement de l'information
- Mode actif 3 : Transmission radio



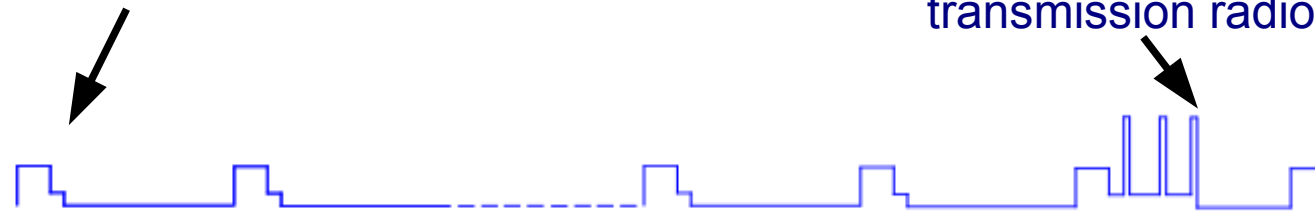
Bilan énergétique

► Fréquence et durée d'utilisation



Motif 1 : Acquisition des données

Motif 2 : Acquisition et transmission radio



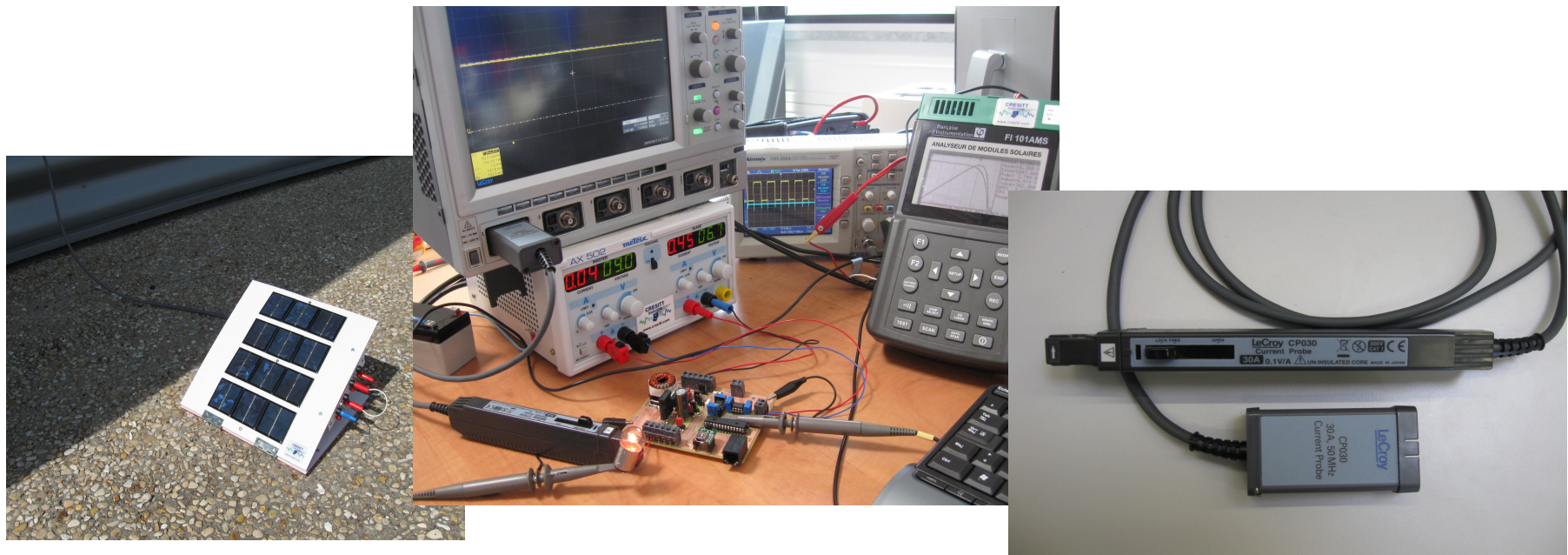
Séquence de fonctionnement qui dure 10 secondes

Bilan énergétique

► Fréquence et durée d'utilisation

Pour acquérir la consommation des éléments composant les système, il existe 2 méthodes :

- La lecture des datasheets des composants
- La mesure, mais sans perturber le système où le moins possible.



Bilan énergétique

► Fréquence et durée d'utilisation

Nous venons de définir 3 notions :

- Séquence de fonctionnement
- Motif de consommation
- Mode du système



Il faut que l'unité de mesure de la durée soit la journée

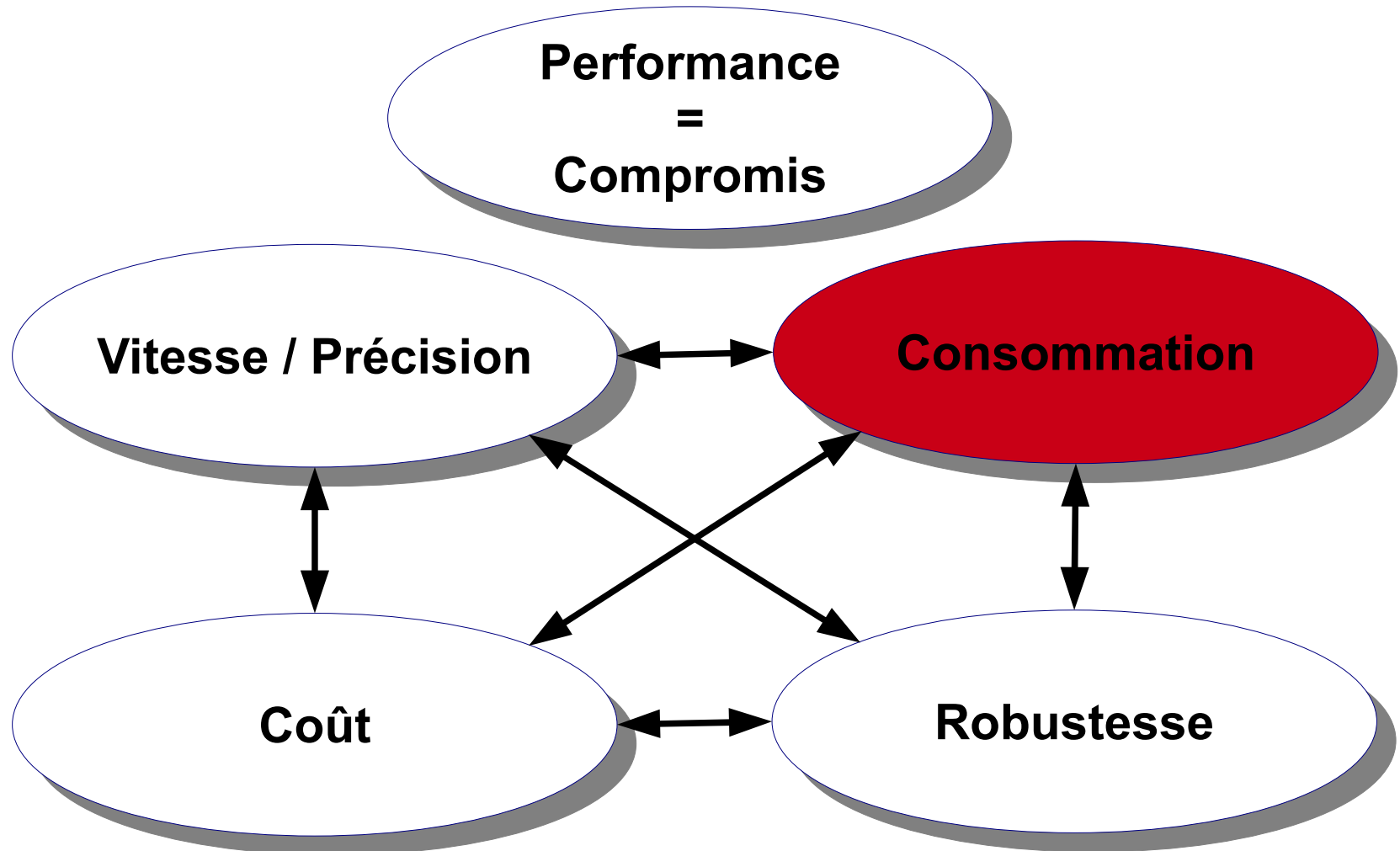
Bilan énergétique

- ▶ Élément influençant le système : l'environnement
 - ▶ Trois paramètres interviennent principalement :
 - La température
 - L'humidité
 - Le vieillissement
 - ▶ Modifient les facteurs suivant :
 - Rendement des panneaux solaires
 - Rendement des alimentations
 - Capacité et performance des réserves d'énergie
 - Consommation des éléments composant le système
 - Coût et fiabilité
 - ...



Bilan énergétique

- ▶ Qu'est-ce qu'un système autonome performant ?



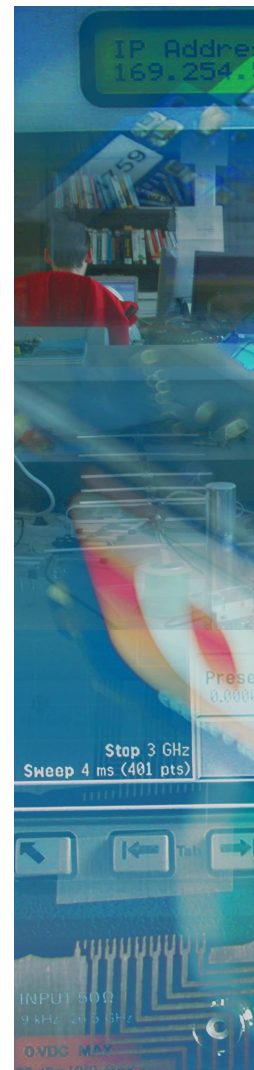
Une formule1 n'est pas une voiture performante dans le désert !

- ▶ 1) Approche système
- ▶ 2) Bilan énergétique
- ▶ 3) Exemple d'un système autonome



Exemple d'un système autonome

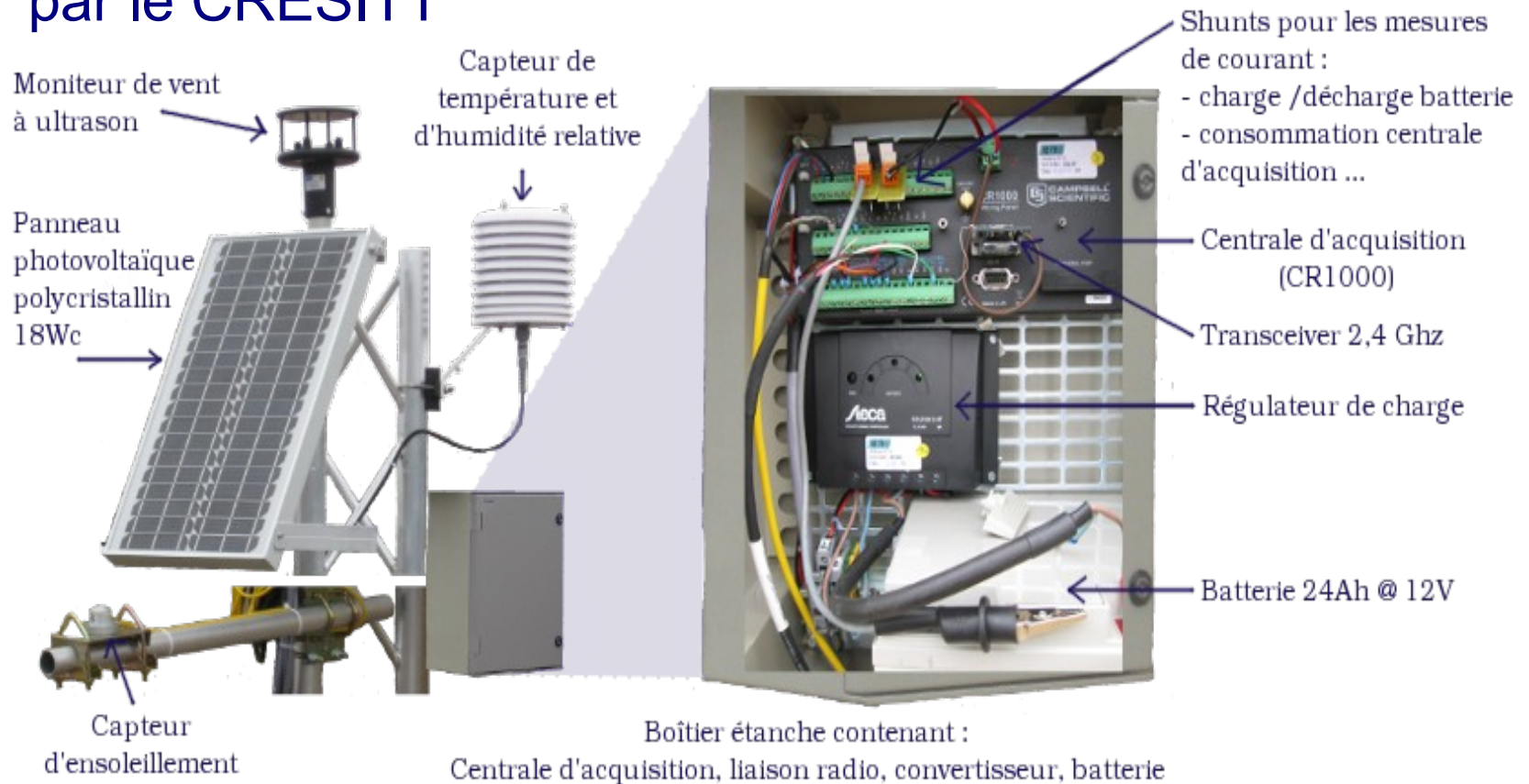
- ▶ I Description du système
- ▶ II Bilan énergétique
- ▶ III Dimensionnement du panneau solaire



Exemple d'un système autonome

► Description du système

Station météorologique EMI-SEPAME (37) et instrumentée par le CRESITT

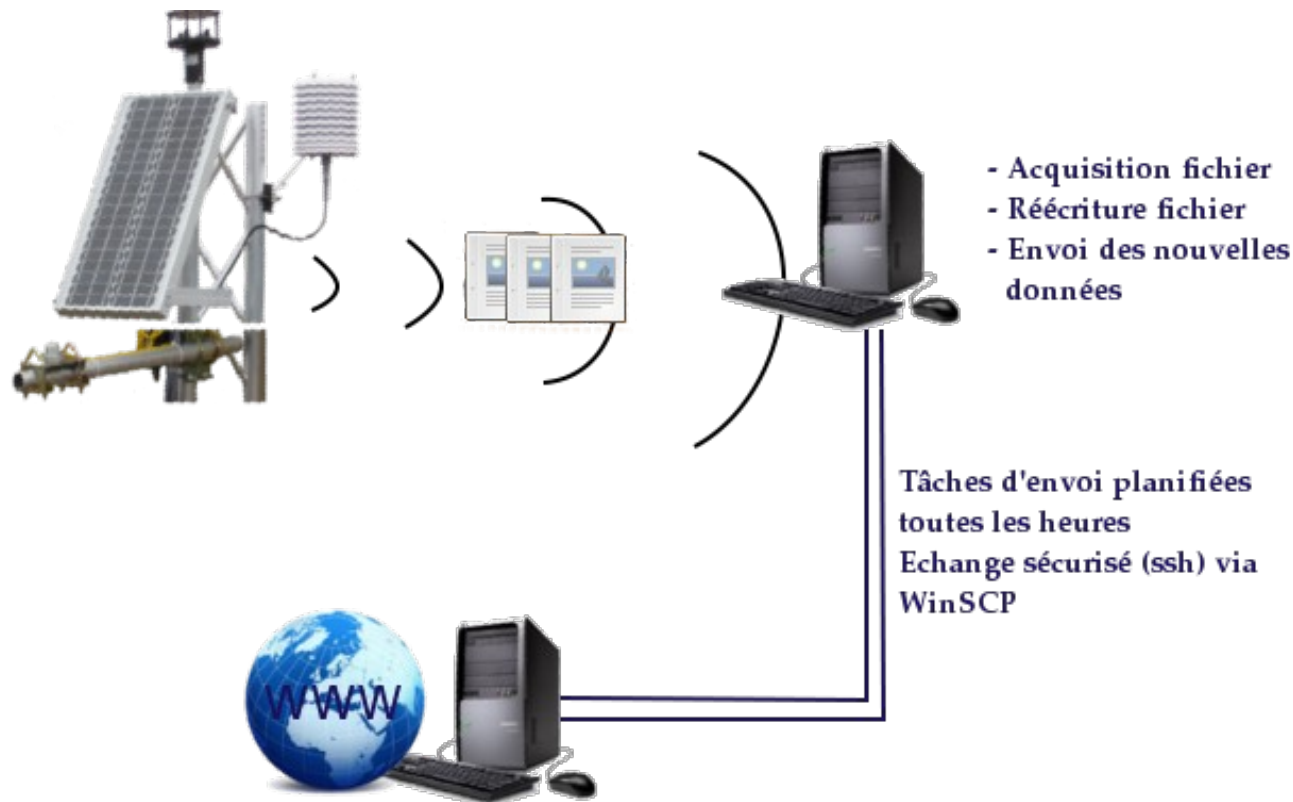


<http://www.cresitt.com/>

Exemple d'un système autonome

► Description du système

Station météorologique EMI-SEPAME (37) et instrumentée par le CRESITT



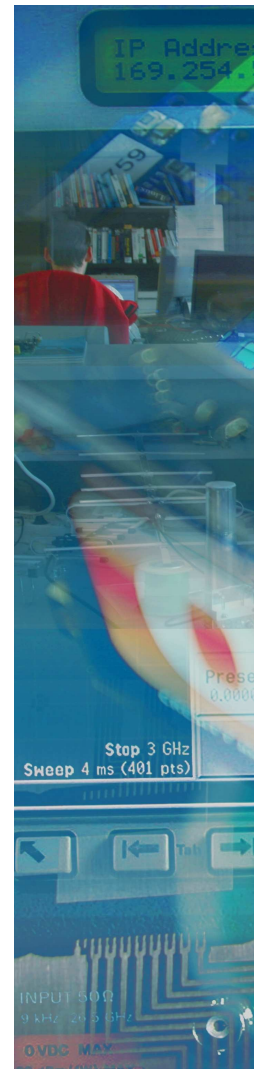
<http://www.cresitt.com/>

Exemple d'un système autonome

► Description du système

Cahier des charges :

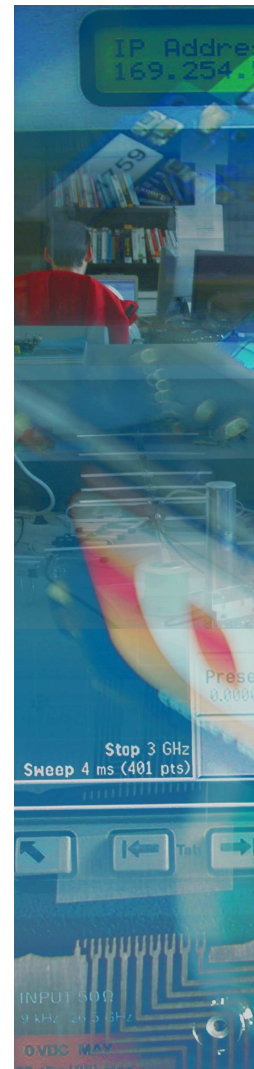
- Les mesures de la température, de l'humidité relative et de l'ensoleillement sont réalisées toutes les minutes
- La vitesse et la direction du vent sont moyennées sur une heure et mesurées toutes les minutes
- Ces mesures sont transmises chaque heure via une liaison radio à un ordinateur qui les met à jour sur internet
- La liaison radio fonctionne 50 minutes par heure entre 8H à 18H (mode debug). Le reste du temps elle est éteinte.



Exemple d'un système autonome

► Bilan énergétique

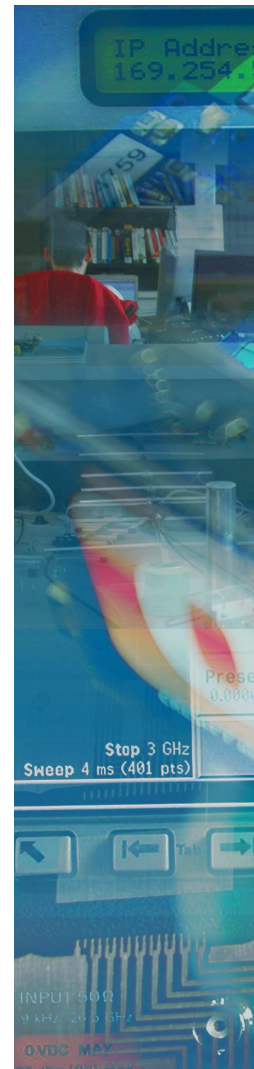
- Ce système autonome possède 1 séquence répétée toutes les heures
- Cette séquence est composée de 2 motifs de consommation :
 - Acquisition / traitement des mesures des capteurs
 - Acquisition / traitement des mesures des capteurs et transmission radio



Exemple d'un système autonome

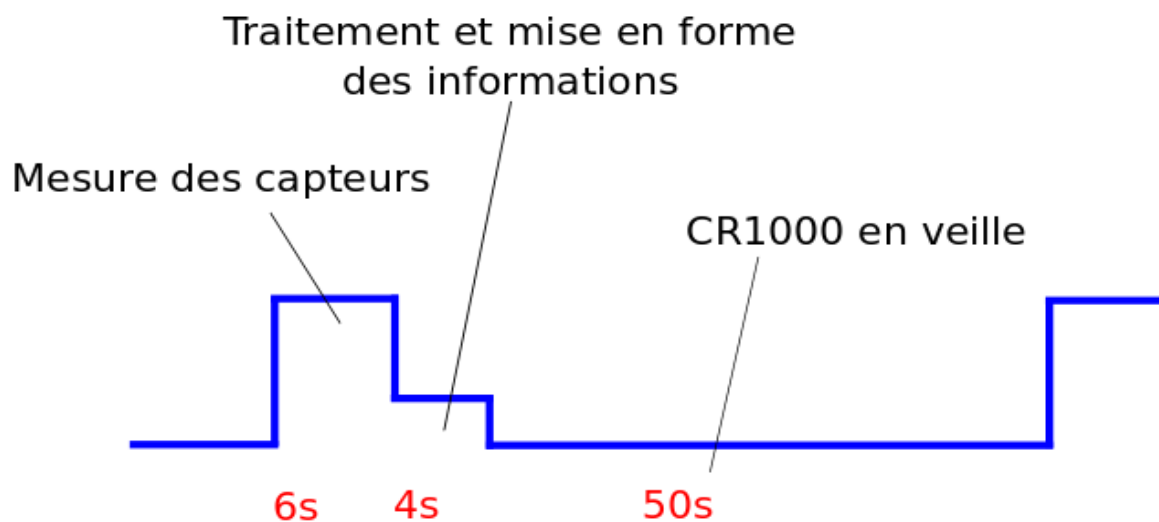
► Bilan énergétique

- Les motifs de consommation comprennent en tout 5 modes :
 - Veille
 - Acquisition des capteurs
 - Traitement de l'information
 - Transmission radio
 - Réception radio



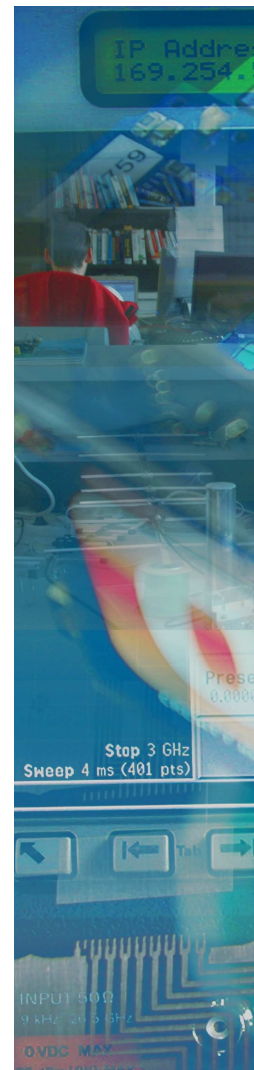
Exemple d'un système autonome

- ▶ Bilan énergétique
 - ▶ Motif de consommation



A ce motif de consommation il faut rajouter :

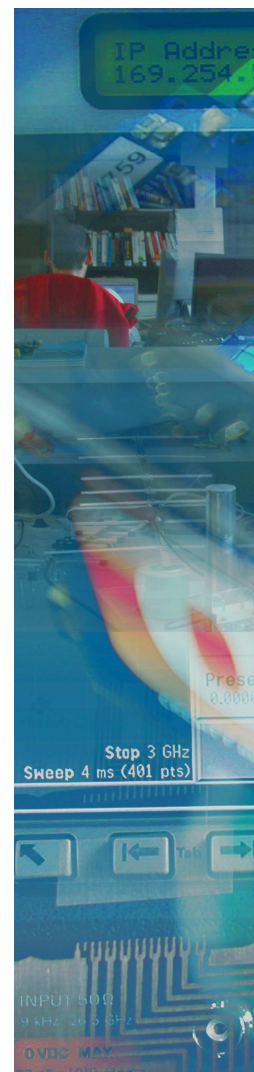
- ▶ Une couche radio :
 - réception active = 50 min / h
 - émission active = 10 min / h



Exemple d'un système autonome

► Bilan énergétique

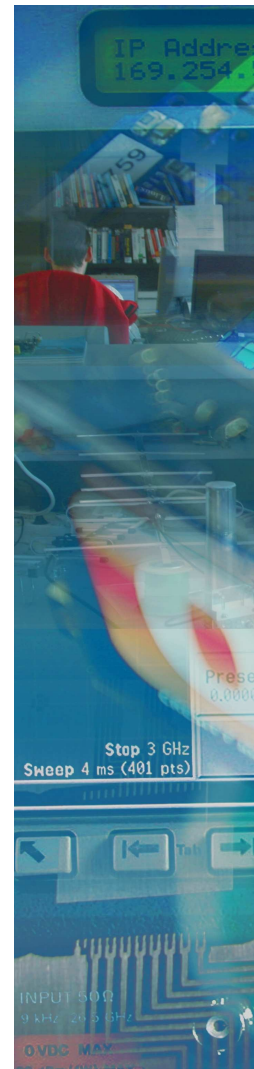
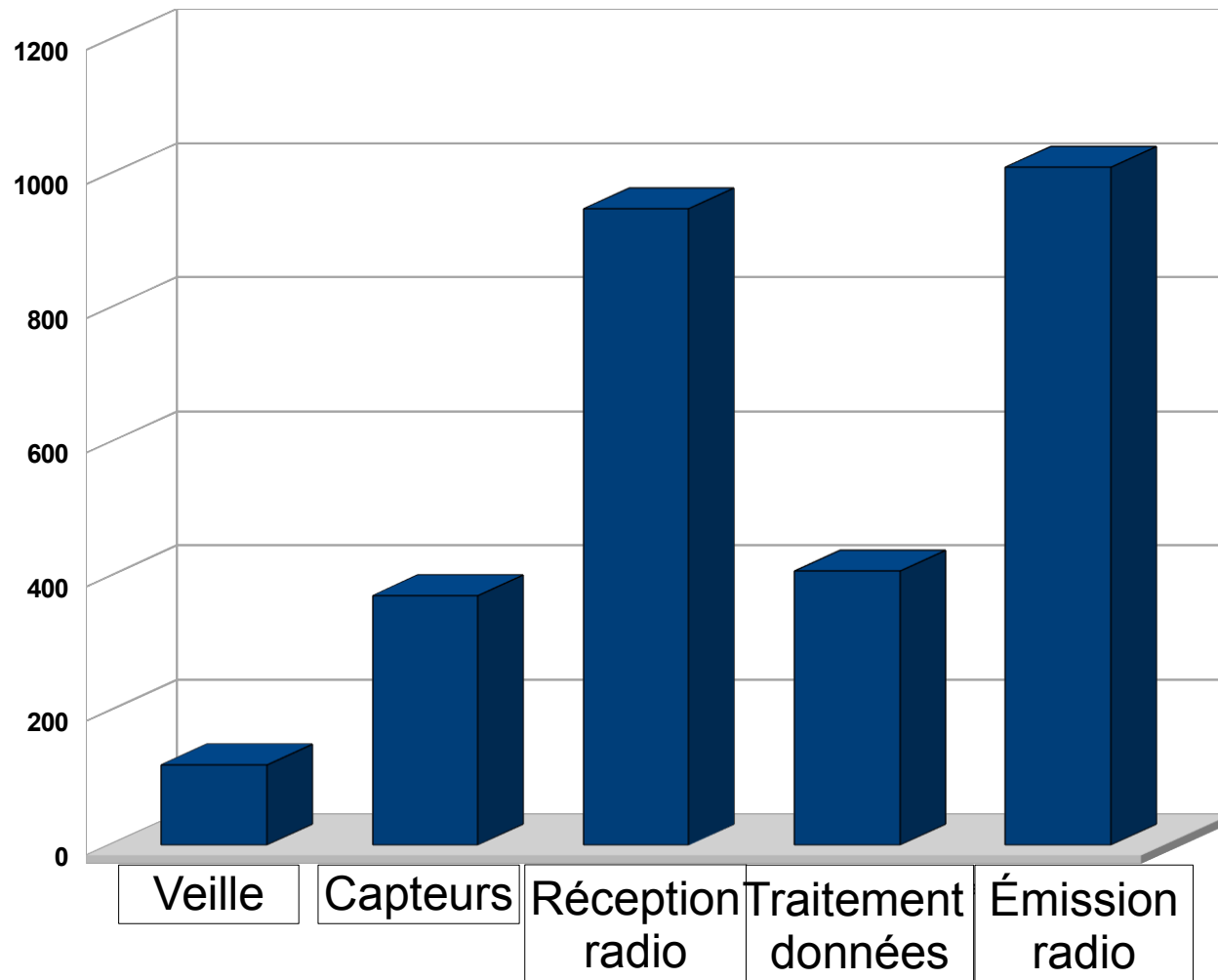
Mode	Consommation (mW)	Durée de fonctionnement par jour (heure)	Énergie consommée pas jour (mWh)
Veille	120	10,60	1200
Acquisition des capteurs	372	2,40	892
Réception radio	948	9,17	8693
Traitement des informations	408	1,60	652
Émission radio	1010	1,83	1848
		TOTAL	12706



Exemple d'un système autonome

► Bilan énergétique

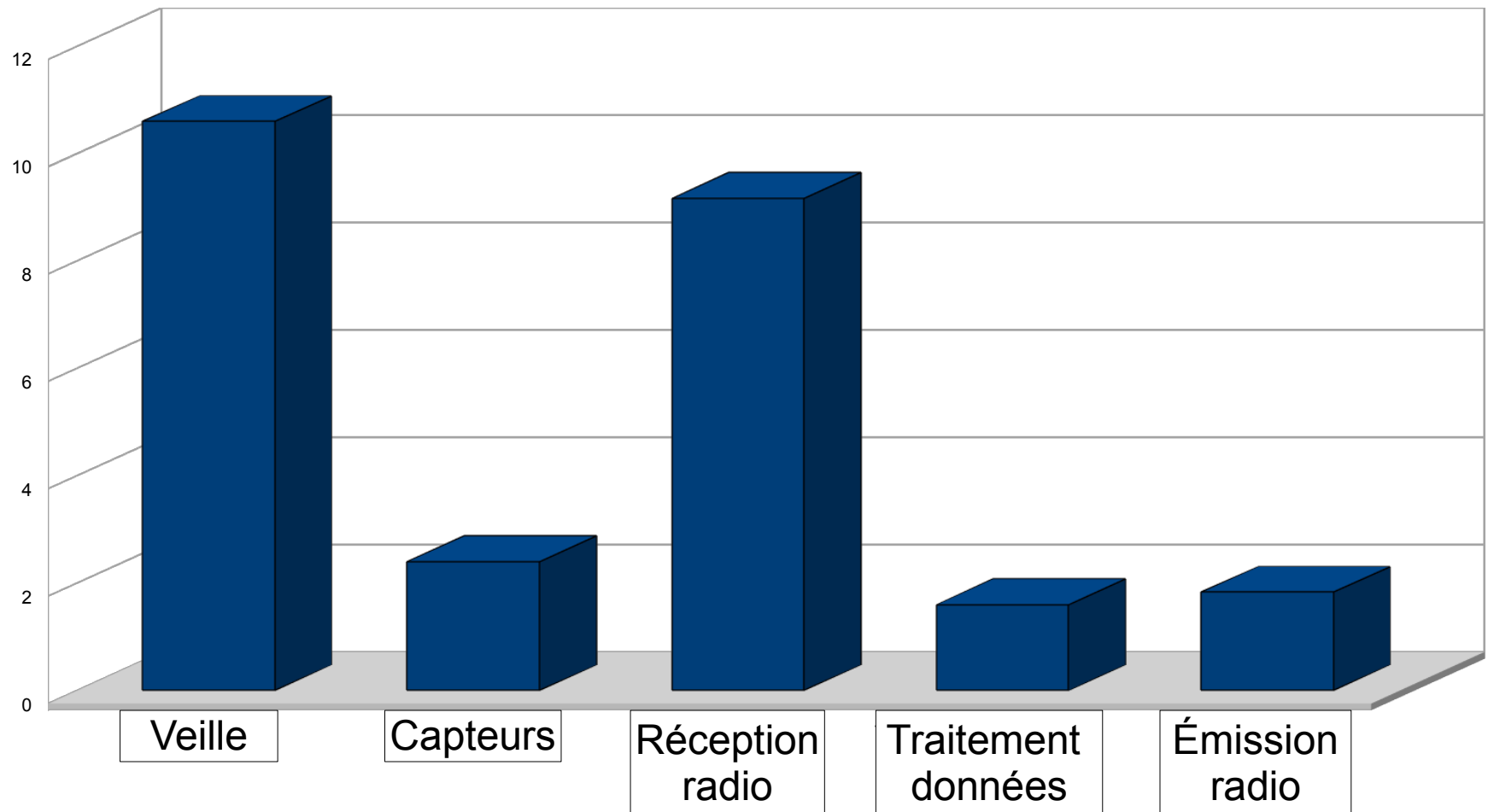
► Puissance consommée dans chaque mode (mW)



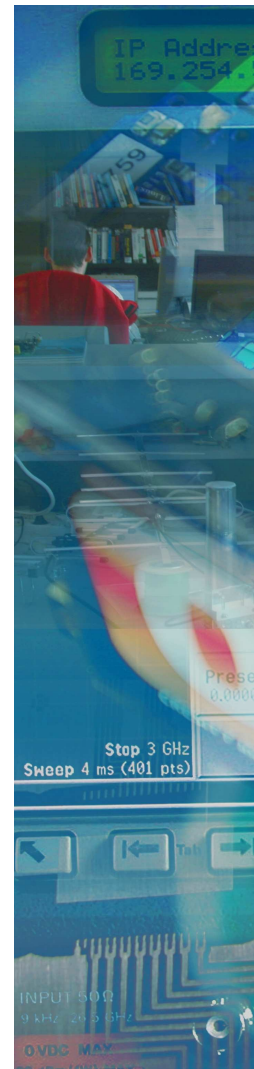
Exemple d'un système autonome

► Bilan énergétique

► Durée d'utilisation de chaque mode (heure)

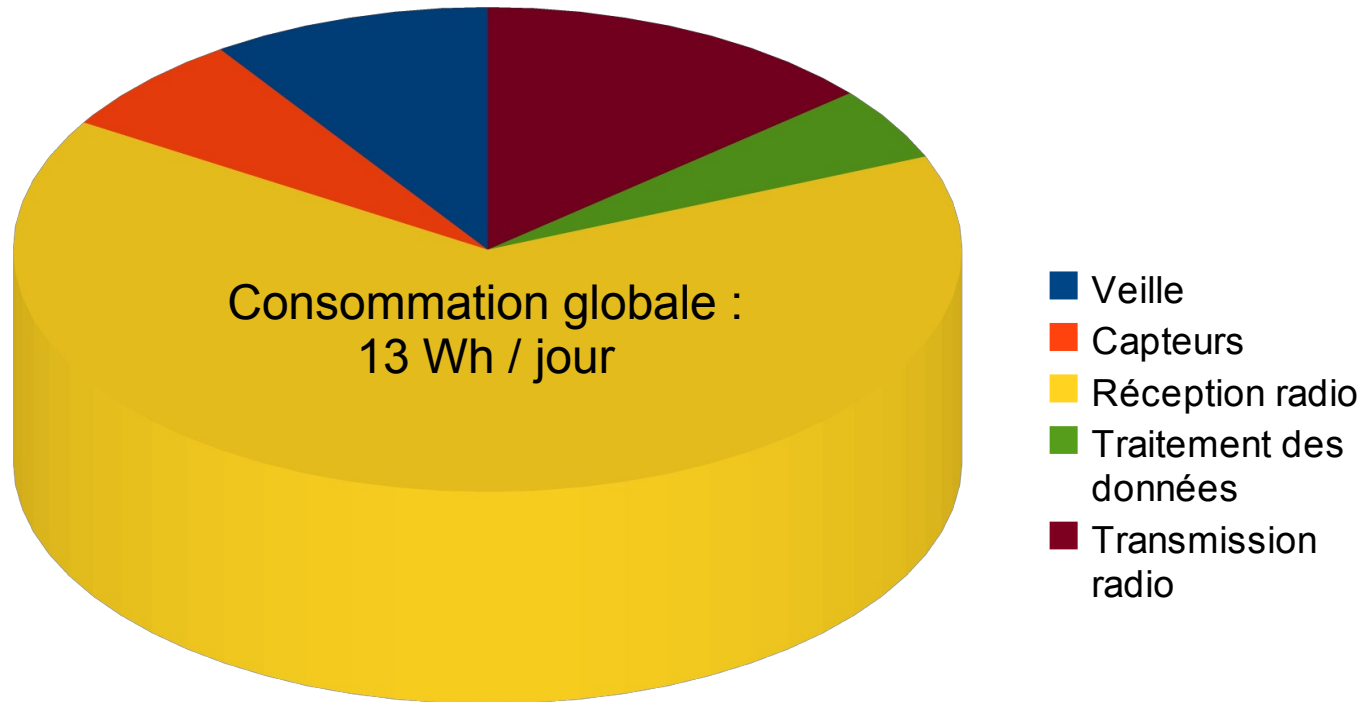


Durée de fonctionnement sur 24 heures



Exemple d'un système autonome

► Bilan énergétique initial



Les modes qui consomment le plus sont :

- Réception radio : 68%
- Transmission radio : 15%
- Veille : 10%

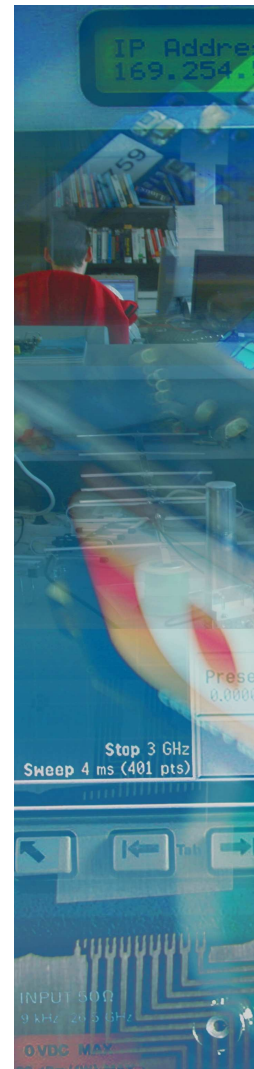
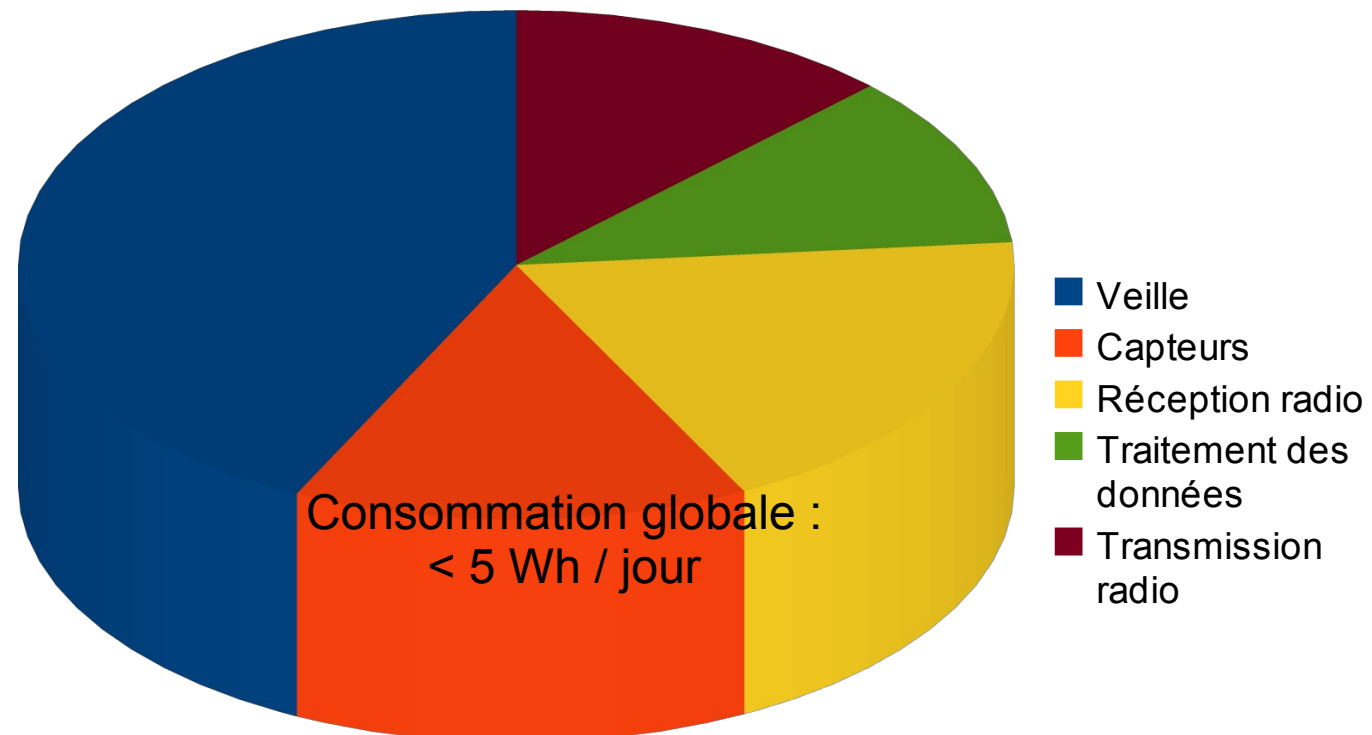


Exemple d'un système autonome

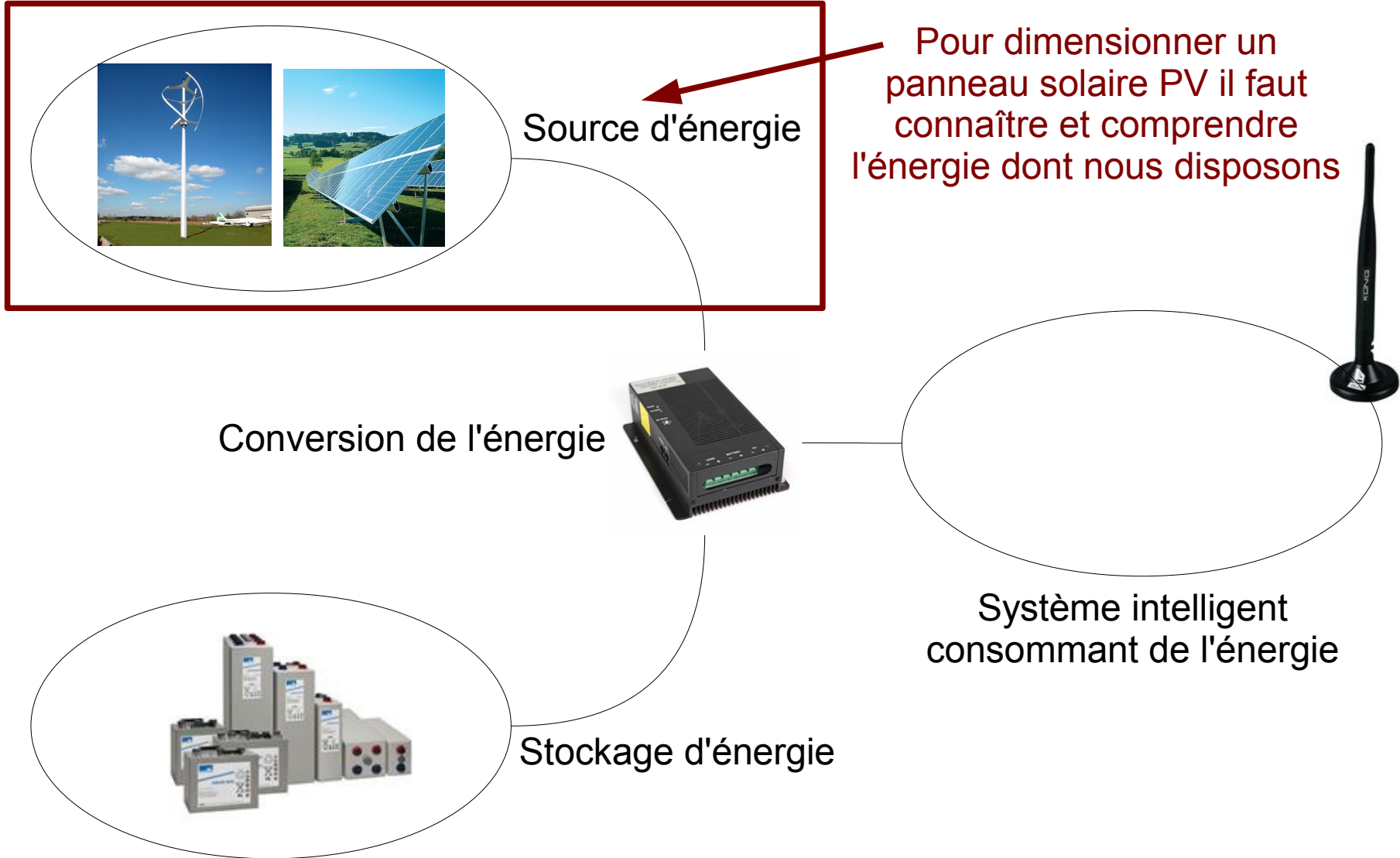
- Bilan énergétique après changement du cahier des charges

La réception radio de la station fonctionne 10 min/h durant 11H00

L'émission radio de la station fonctionne 6 min/h durant 11H00



Exemple d'un système autonome



Exemple d'un système autonome

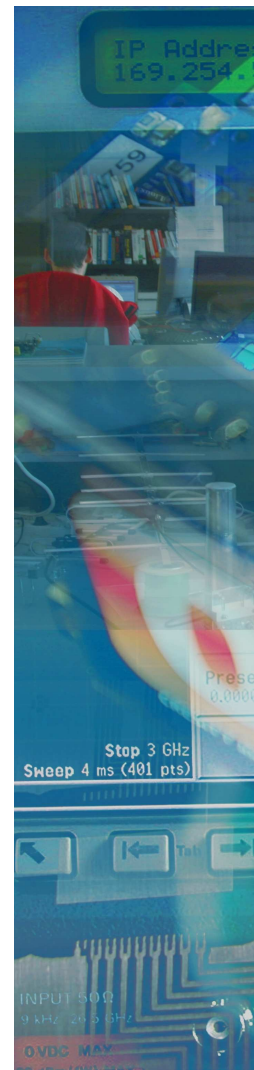
► Dimensionnement du panneau solaire

- Importance de l'inclinaison d'un panneau solaire

Irradiation solaire sur un plan d'inclinaison variant de 0° (horizontal) à 90° (vertical) et d'orientation 0° (sud) en kWh / m² à Orléans.

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
0°	1.15	1.83	3.00	4.46	5.66	6.11	5.53	4.75	3.89	2.37	1.25	0.83	3.41
15°	1.49	2.19	3.39	4.76	5.81	6.15	5.59	4.96	4.33	2.83	1.55	1.05	3.68
30°	1.76	2.44	3.62	4.83	5.70	5.93	5.42	4.94	4.57	3.15	1.79	1.22	3.79
45°	1.94	2.59	3.68	4.69	5.34	5.46	5.03	4.71	4.58	3.31	1.93	1.33	3.72
60°	2.02	2.60	3.56	4.34	4.76	4.78	4.45	4.28	4.37	3.31	1.99	1.38	3.49
75°	1.99	2.49	3.28	3.80	4.00	3.95	3.71	3.68	3.95	3.14	1.94	1.36	3.11
90°	1.86	2.25	2.85	3.11	3.12	3.02	2.88	2.95	3.35	2.82	1.79	1.27	2.61

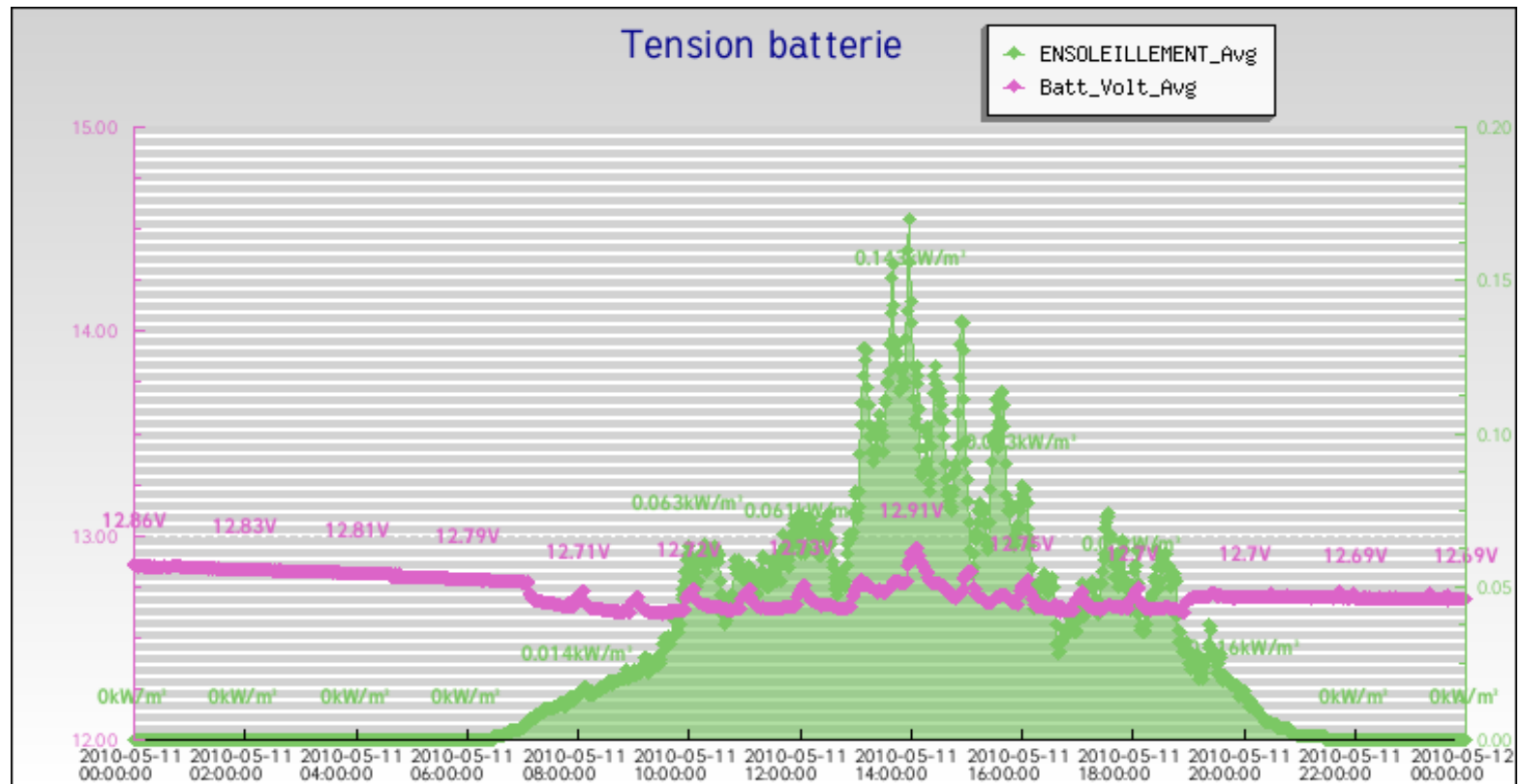
Tableau réalisé à partir des données INES



Exemple d'un système autonome

► Dimensionnement du panneau solaire

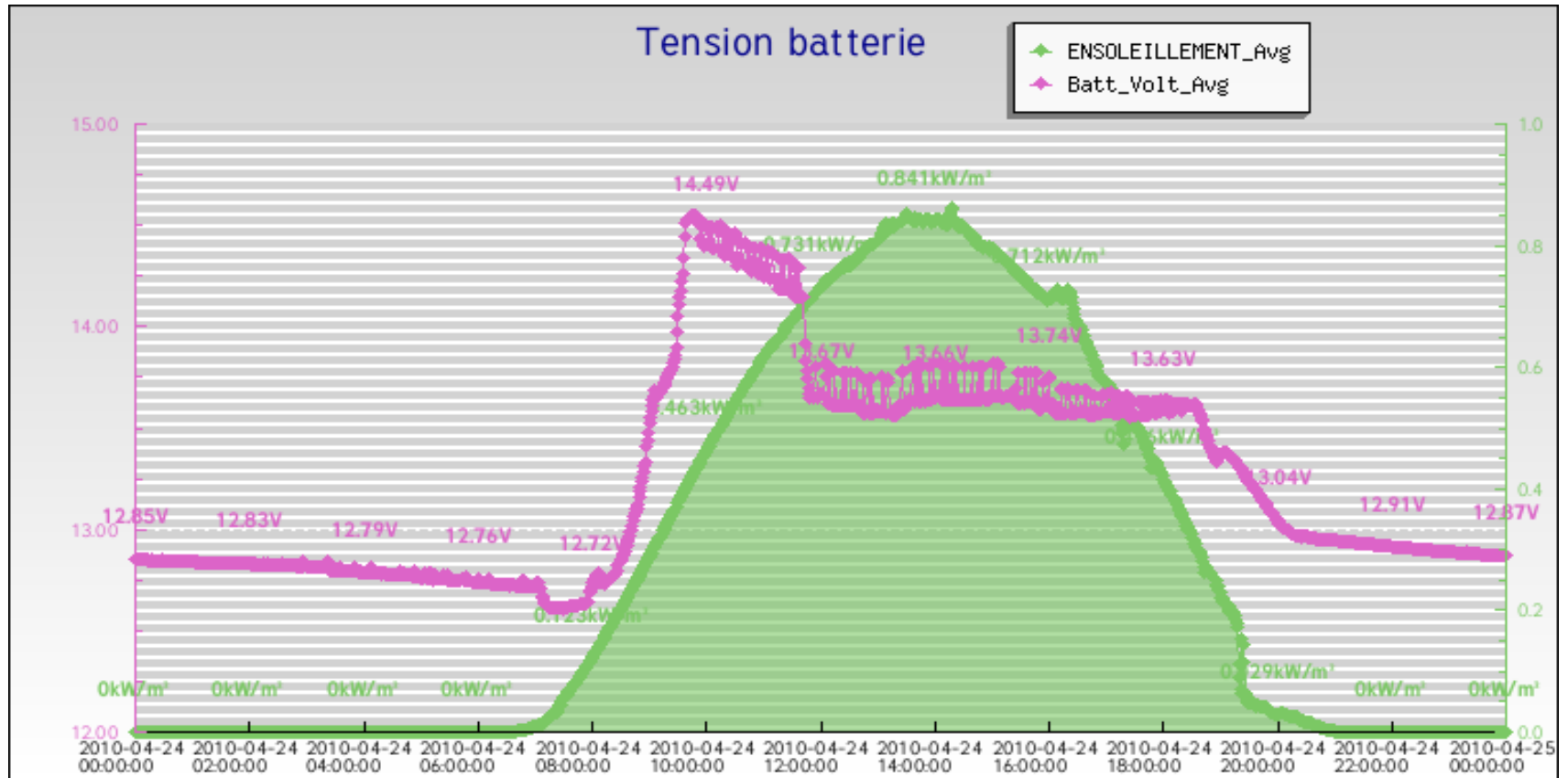
Ensoleillement mesuré sur le toit du CRESITT (Olivet 45) sur une durée d'une journée. L'unité de mesure est le kW / m².



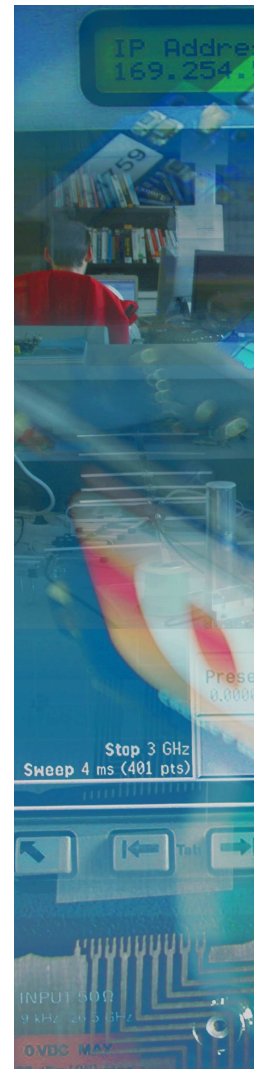
Ensoleillement du 1er Mai 2010 : 0,7 kWh/m²

Exemple d'un système autonome

► Dimensionnement du panneau solaire



Ensoleillement du 24 Avril 2010 : 6,65 kWh/m²

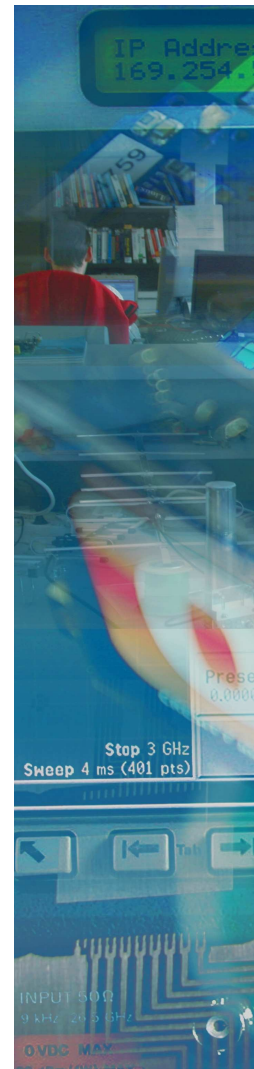


Exemple d'un système autonome

- ▶ Dimensionnement du panneau solaire
 - Le Watt crête (Wc)

Le watt crête détermine la puissance d'un panneau solaire sous **CERTAINES** conditions :

- Irradiance solaire 1000 W / m^2
- Cellules solaires au point de fonctionnement maximum @ 25°C
- Flux lumineux incidence directe
- Spectre solaire à A.M. 1,5



Exemple d'un système autonome

► Dimensionnement du panneau solaire



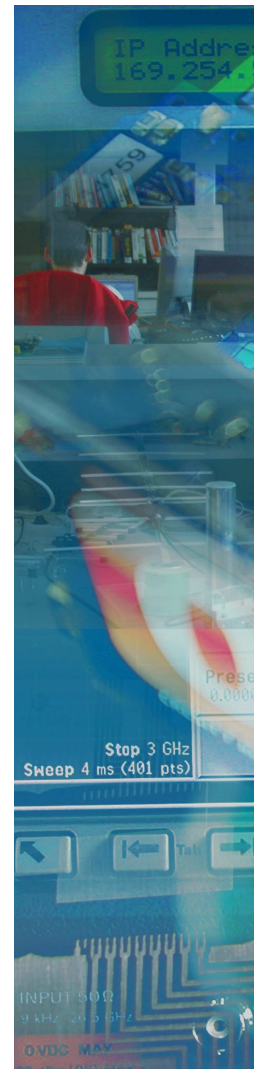
1,39 heure @ 1000 Watt / m²



13 Wh / jour

Le panneau doit avoir une puissance de 9,35 Wc

Avec un coefficient pondérateur de 0,7 le panneau sera de 13,4 Wc

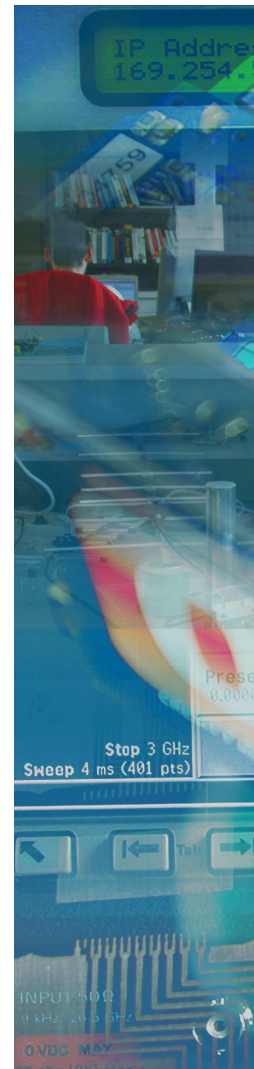


Exemple d'un système autonome

► Dimensionnement du panneau solaire

- Phénomènes physiques pouvant diminuer l'énergie récupérée d'un panneau solaire

- | | | |
|---|---|----------------------------|
| - Salissures des panneaux | } | Production panneau solaire |
| - Éclairage de fin et de début de journée | | |
| - Température élevée | | |
| - Chute de tension diode série | } | Chute de tension |
| - Chute de tension régulateur série | | |
| - Chute de tension due aux câblages | | |
| - Efficacité énergétique de la batterie | } | Batterie |
| - Désaccord entre la batterie et le panneau solaire | | |



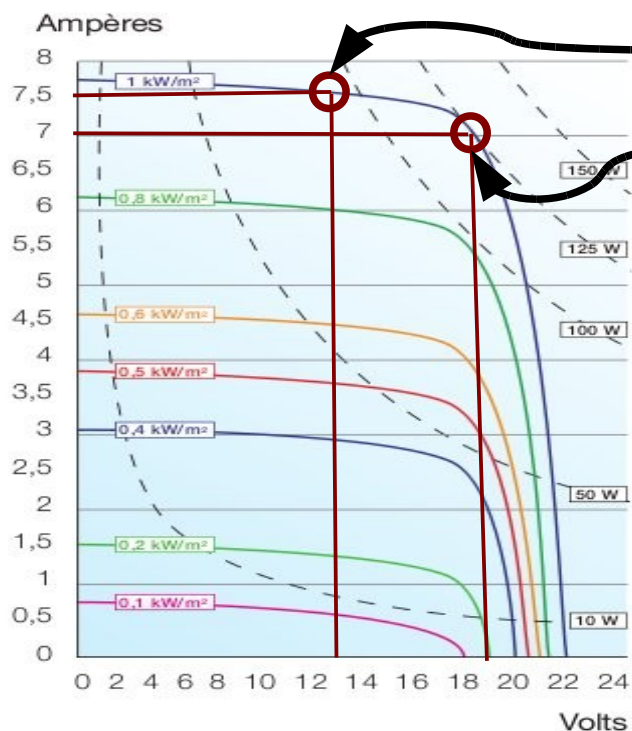
Exemple d'un système autonome

► Dimensionnement du panneau solaire

- Accord entre le panneau solaire et la batterie

Le point de fonctionnement où travaillera le panneau solaire photovoltaïque dépend de la charge que l'on place derrière lui.

IRRADIANCE



12V @ 7,5A => 90W

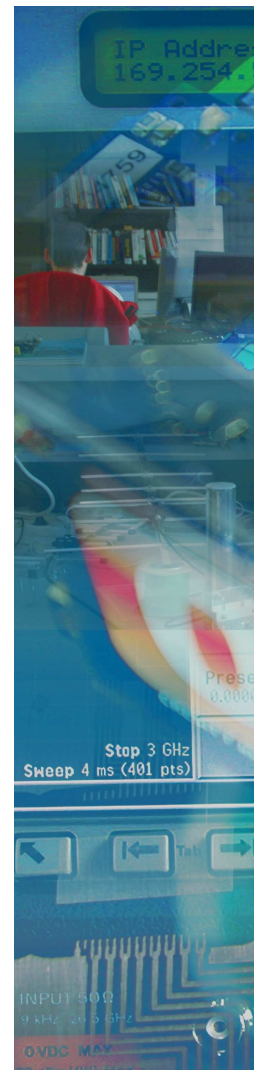
18V @ 7A => 125W

28% de perte !!!

Pour une même irradiance la puissance récupérable varie en fonction du point de fonctionnement où l'on place le panneau solaire.

Pour suivre ce point et optimiser le transfert d'énergie entre le panneau et la batterie il faut utiliser un régulateur MPPT.

Panneau solaire Photowatt 125Wc



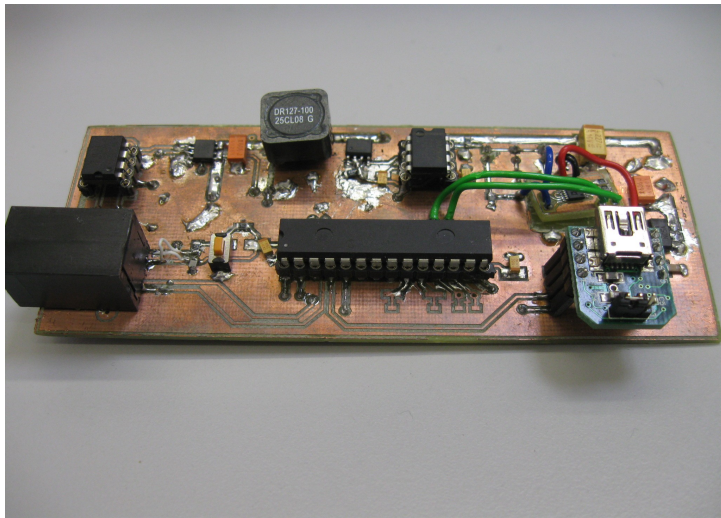
Exemple d'un système autonome

► Dimensionnement du panneau solaire

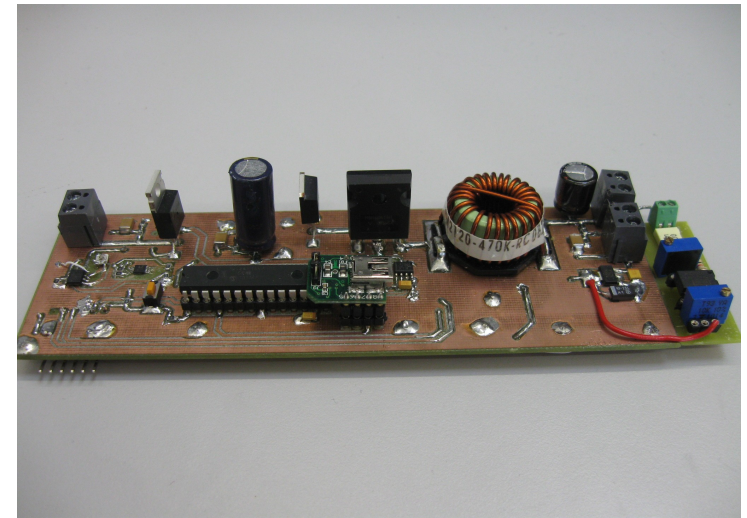
- Travail réalisé en partenariat avec DSA technologies



Régulateur MPPT de faible à moyenne puissance (du Watt à une centaine de Watts)

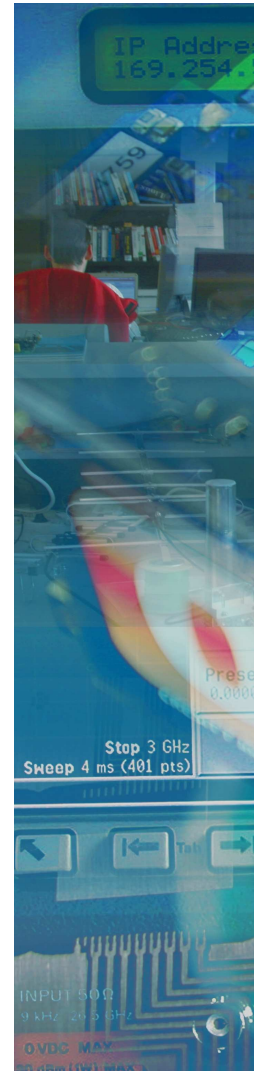


Régulateur MPPT 10W



Régulateur MPPT 50W

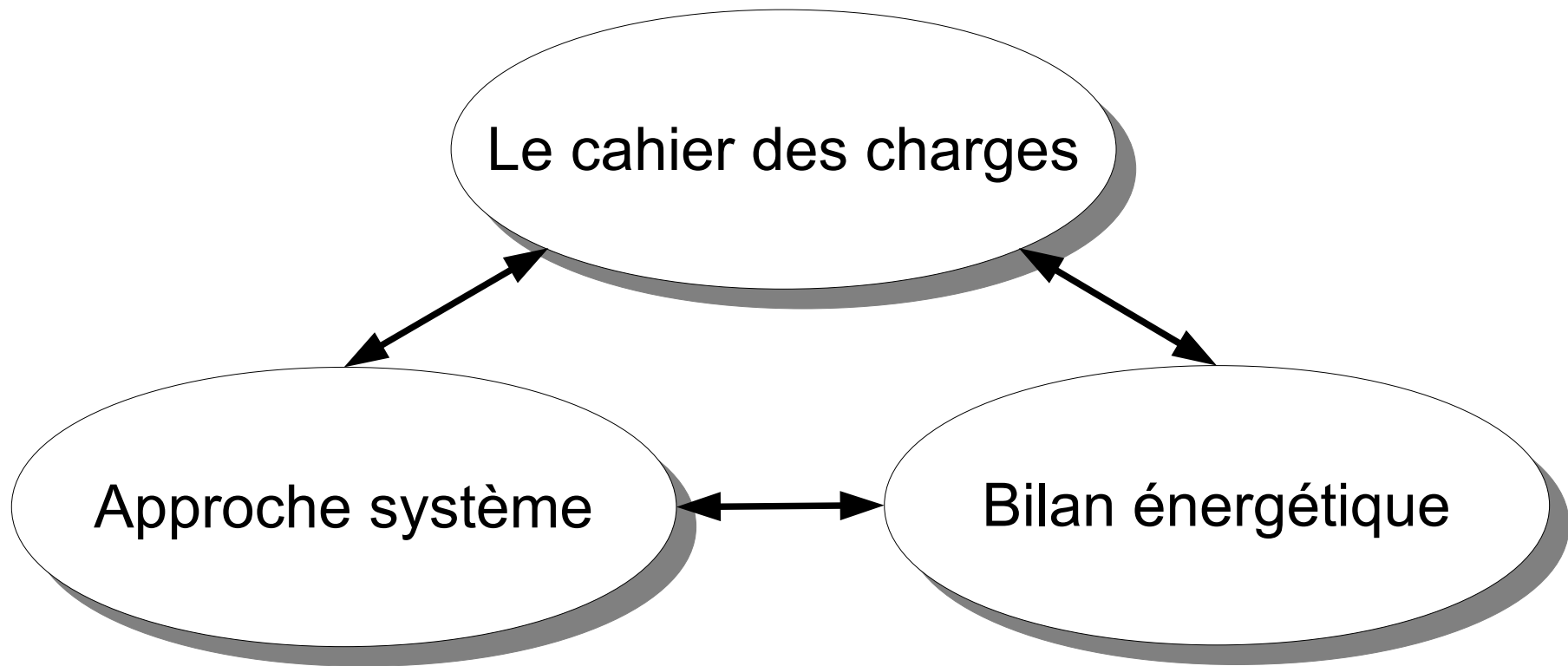
Les régulateurs MPPT du CRESITT s'appuient sur la philosophie des régulateurs réalisés par DSA technologies.



Conclusion

- ▶ L'autonomie d'un module électronique est imposée par le cahier des charges
- ▶ Une conception en amont prenant en compte l'aspect énergétique est primordial
- ▶ Cette autonomie pose des contraintes fortes sur le choix des capteurs, de l'intelligence artificielle et sur le rapatriement des données
- ▶ Un module autonome est un système complexe, réalisé à partir de compromis

Conclusion



- ▶ La conception d'un système autonome commence dès l'ébauche du projet avec la réalisation du cahier des charges
- ▶ C'est le cahier des charges qui va déterminer dans sa globalité les possibilités du système ainsi que son autonomie

- ▶ Formation sur les systèmes autonomes les 2 et 3 février 2011.

La théorie sur les systèmes autonomes :

- Les énergies disponibles en général et l'énergie solaire en particulier
- Bilan énergétique
- Les technologies de batteries et de panneaux PV
- Le dimensionnement d'un système autonome

La pratique :

- Mesure tension, courant, rendement des régulateurs
- Caractérisation d'un panneau PV
- Charge d'une batterie avec un panneau PV



MERCI DE VOTRE ATTENTION

QUESTIONS ?

