

Notion de système embarqué : exemple de la métropole rennaise (Zone Atelier Armorique)

Alban Thomas - Hervé QuénoI

UMR LETG Rennes - COSTEL

06/01/2016



Système embarqué : définition

Système

- **électronique** et **informatique**
- **autonome** (ressources énergétiques)
- **fiable**
- souvent **temps réel**,
- **spécialisé** dans une tâche bien précise
- Ses **ressources** sont généralement **limitées**. Cette limitation est généralement d'ordre spatial (encombrement réduit) et énergétique (consommation restreinte).

Le terme désigne aussi bien le matériel informatique que le logiciel utilisé.



Cahier des charges contraignant

Coût doit être le plus faible possible (surtout si produit en grande série) ;

Espace et puissance définir le juste nécessaire pour éviter un surcoût et une consommation excédentaire d'énergie ;

Autonomie consommation énergétique doit être la plus faible possible (batteries et/ou panneaux solaires) ;

Temporel exécution tâche déterminée dans le temps. Généralement ces systèmes ont des propriétés *temps réel* ;

Fiabilité systèmes *critiques* quand des vies ou investissements majeurs en péril ;

Sécurité quand porteurs d'informations confidentielles ;



Caractéristiques

- conçu pour des tâches précises (pas un PC multitache)
- contraintes (pour certains) de temps réel pour des raisons de fiabilité et de rentabilité
- modules indépendants ou intégrés dans le dispositif qu'ils contrôlent (le plus souvent)
- logiciel appelé firmware, stocké hors disque dur (mémoire en lecture seule ou mémoire flash)
- ressources matérielles limitées (clavier et écran potentiellement absents, et peu de mémoire)



Fiabilité

Systèmes embarqués = machines fonctionnant :

- (généralement) en continu pendant de nombreuses années
- sans erreur, voire capables de réparer eux-mêmes les erreurs quand elles se produisent

Aussi

- Logiciels développés et testés avec plus d'attention que ceux pour les PC
- Pièces non fiables proscrites (par ex. lecteurs de disques, boutons ou commutateurs)

La fiabilité peut aussi impliquer de ne jamais pouvoir éteindre le système (même lors des maintenances).



Développement de systèmes embarqués

Nécessite :

- des connaissances en **informatique** et en **électronique**
- la documentation (datasheet) sur les composants utilisés
- composants électroniques et outillage de base
- un microprocesseur ou un microcontrôleur (ex. : Arduino)
- outils permettant de programmer sur le système (compilateur croisé, programmeur de microcontrôleur...)



rpi weather

- *rpi weather*, un projet permettant
 - de collecter automatiquement et à distance les mesures météorologiques, sous un format standard
 - d'indiquer l'état des stations en temps quasi-réel (détection des problèmes)
- Contraintes budgétaires
 - acquisition de stations équipées GSM/GPRS impossible
 - besoin alternative à un prix raisonnable



rpi weather

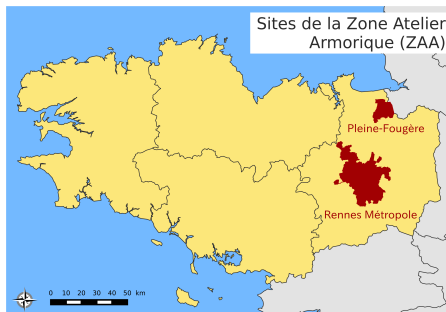
- *rpi weather*, un projet permettant
 - de collecter automatiquement et à distance les mesures météorologiques, sous un format standard
 - d'indiquer l'état des stations en temps quasi-réel (détection des problèmes)
- Contraintes budgétaires
 - acquisition de stations équipées GSM/GPRS impossible
 - besoin alternative à un prix raisonnable

→ Solution retenue

- Mini-ordinateurs à coût modique (Raspberry Pi) connectés
 - à console des stations, pour collecter les données
 - à internet (Wifi ou filaire), pour les transmettre



Zone Atelier Armorique (ZAA)



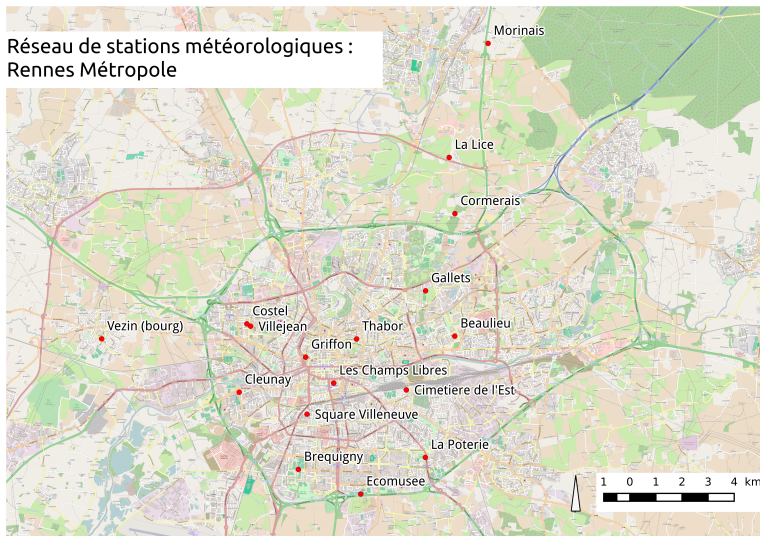
- Dispositif de recherche à **long terme**
- Rennes Métropole inclu dans ZAA depuis 2011
- Objectif : pérenniser les 18 stations sur Rennes

Le long terme est la principale motivation de ce projet...



Réseau de stations météorologiques

Réseau de stations météorologiques :
Rennes Métropole



Problématique

- Actuellement
 - Tous les mois, 11 stations relevées manuellement,
 - 7 autres stations gérées par des volontaires, données envoyées par courriel (fichier dans un format propriétaire)
- 2 problèmes majeurs
 - 1 Coût en temps
 - Relevé des mesures sur le terrain
 - Centralisation et formalisation de toutes les données
 - 2 Perte de données
 - Coupures de courant
 - Dysfonctionnement d'un capteur
- 2 remarques :
 - 1 Accès internet facile
 - 2 Pas de crédits dédiés à ce projet



Weather Monitor II



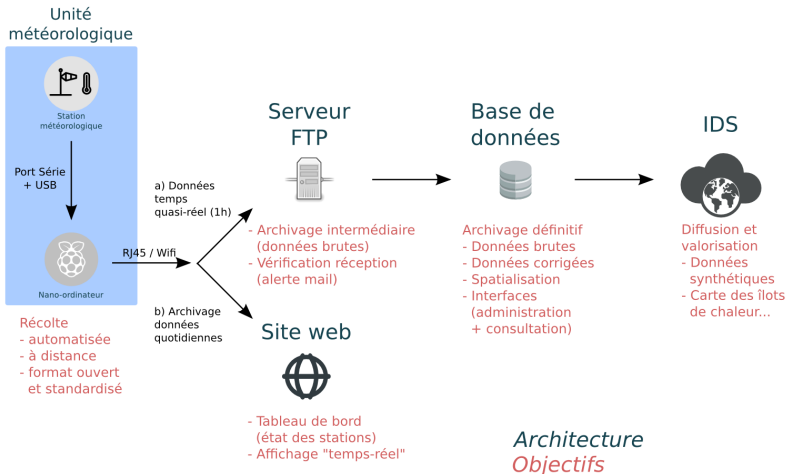
- Les plus anciennes : des années 80 jusque 2007
- ... mais fiables et 11 sites toujours équipés

Vantage Pro 2

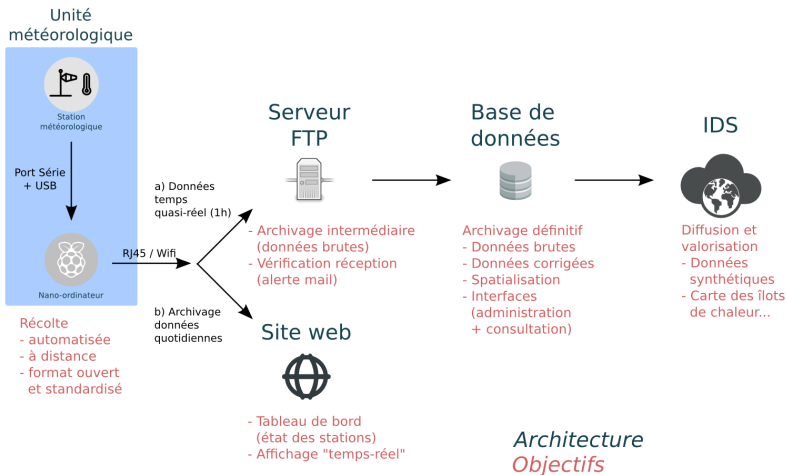
- Conception plus récente, architecture similaire :
 - 1 **capteurs** météorologiques (anémomètre, pluviomètre...)
 - 2 **station** qui enregistre les mesures
 - 3 **console** (à l'intérieur) qui affiche et stocke les données (1 à 2 mois de données)
- 7 sites équipés



Architecture du projet complet



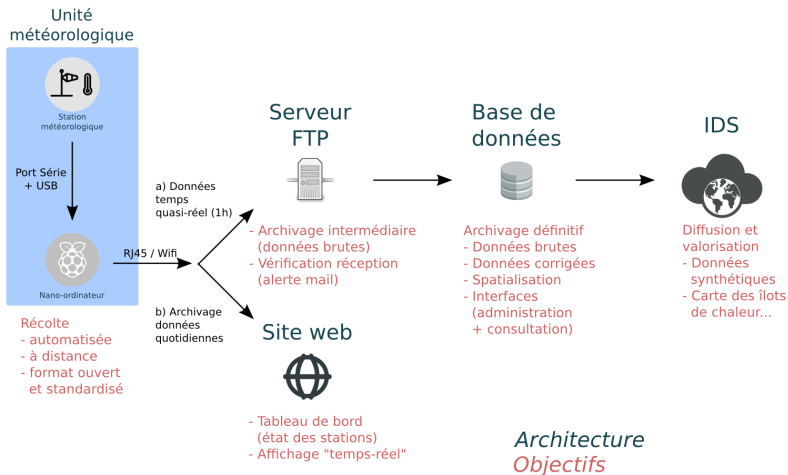
Architecture du projet complet



1. Raspberry Pi et l'application (rpi_weather)

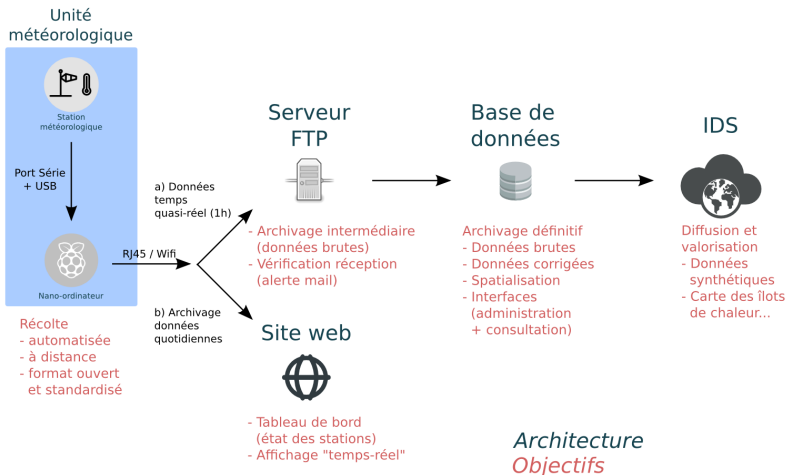


Architecture du projet complet



2. Archivage (base de données)

Architecture du projet complet



3. Retour d'expérience



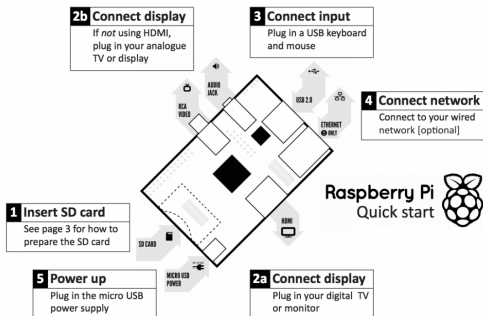
Présentation



- Nano-ordinateur (petit)
- Petit
- Coût modique (environ 30€)
- Ressources limitées
 - processeur ARM11 à 700MHz
 - 512 Mo de RAM
 - circuit graphique BMC Videocore 4
 - 1, 2 ou 4 ports USB (suivant les versions)
 - un port RJ45

Objectifs

- Collecte
 - console Davis (port USB)
 - Vantage Pro 2 et Weather Monitor II



- Transmission (Internet)
 - données actuelles (HTTP)
 - données quotidiennes (FTP)
 - réseau filaire ou sans-fil
- Système autonome et fiable
 - mise à jour heure station
 - reconfigure station
 - redémarre en cas de problèmes récurrents



Description

- Application codée en Python
 - Destinée au Raspberry Pi, compatible Linux (Debian)
 - 3000 lignes de codes
 - Approche objet (15 classes)
 - Dépôt privé (licence en discussion)
- Système autonome et fiable
 - Tests (unitaires)
 - Démarre automatiquement la collecte et la transmission des données
 - Détecte problèmes récurrents et redémarre



Affichage en temps "réel" : tableau de bord



[Click for weather forecast](#)

[UTC] 14:19:22

Villejean
[UTC] 2015-12-21 10:59

Température : 12.6°C
Pression : 1023.4 hPa
Vitesse vent : 0.0m/s
Direction : 239°
Humidité : 79%
Précipitations : 3.56mm

Costel
[UTC] 2016-01-05 14:00

Température : 9.6°C
Pression : 1019.3 hPa
Vitesse vent : 0.0m/s
Direction : --°
Humidité : --%
Précipitations : 12.13mm

Melesse
[UTC] 2016-01-05 14:09

Température : 9.4°C
Pression : 1001.4 hPa
Vitesse vent : 0.9m/s
Direction : 66°
Humidité : 75%
Précipitations : 21.79mm

Beaulieu
[UTC] 2016-01-05 13:59

Température : 9.3°C
Pression : 987.5 hPa
Vitesse vent : 0.0m/s
Direction : --°
Humidité : 73%
Précipitations : 0.26mm

La Morinais
[UTC] 2015-12-18 12:00

Température : 14.8°C
Pression : 1013.7 hPa
Vitesse vent : 1.8m/s
Direction : 225°
Humidité : 91%
Précipitations : 0.0mm

Vezi
[UTC] 2015-12-30 14:00

Température : 13.4°C
Pression : 1010.6 hPa
Vitesse vent : 0.0m/s
Direction : --°
Humidité : 69%
Précipitations : 0.0mm

Poterie
[UTC] 2016-01-05 14:00

Température : 9.4°C
Pression : 985.7 hPa
Vitesse vent : 0.0m/s
Direction : --°
Humidité : 90%
Précipitations : 0.0mm

Brequigny
[UTC] 2015-12-07 09:01

Température : 8.3°C
Pression : 1025.2 hPa
Vitesse vent : 0.4m/s
Direction : 93°
Humidité : 92%
Précipitations : 22.53mm

Griffon
[UTC] 2015-12-02 21:36

Température : --°C
Pression : -- hPa
Vitesse vent : --m/s
Direction : --°
Humidité : --%
Précipitations : --mm

--
[UTC] --

Température : --°C
Pression : -- hPa
Vitesse vent : --m/s
Direction : --°
Humidité : --%
Précipitations : --mm

Test
[UTC] 2015-11-04 13:00

Température : --°C
Pression : 1014.8 hPa
Vitesse vent : 0.0m/s
Direction : --°
Humidité : --%
Précipitations : 0.0mm

Site de démonstration



Problématique

Données météorologiques

- Différents modèles de station (Davis, Tinytag. . .)
- Différents formats de fichiers (certains propriétaires)
- Différents formattages (nombre de capteurs. . .)
- Non centralisées → difficile de vérifier la qualité



Objectifs

- Copie données avec format d'origine
- Standardiser formats
- Spatialiser données
- Pouvoir marquer une donnée comme fausse (proposer une correction)
- Améliorer gestion du parc
 - Enregistrer opérations de maintenance
 - Pouvoir indiquer précision des capteurs



Consultation (intranet)

- Interrogation intuitive et efficace des données
- Export dans un format ouvert

Stations météorologiques ZAA

-- Consultation des données --

[Administration](#)

Stations

Actives HS Toutes

- Bréguigny (ZAA_35000_001)
- Chénay (ZAA_35000_004)
- Fécampasse (ZAA_35000_006)
- Griffon (ZAA_35000_006)
- Halber (mar) (ZAA_35000_010)
- Aquino Villepreux (ZAA_35000_012)
- Les Champs Libres (ZAA_35000_013)
- Similaire de FEA (ZAA_35000_014)
- Costel (ZAA_35000_001)
- Villepreux (ZAA_35000_002)
- Futiers (ZAA_35200_001)
- Sohier (ZAA_35222_002)
- Noistamp (Campbell) (ZAA_35222_004)
- Mont-Renaud (Campbell) (ZAA_35222_005)
- Jorchev (ZAA_35222_006)
- Songéol Marais (Campbell) (ZAA_35222_002)
- France-la-Forêt (ZAA_35339_001)
- France-la-Forêt (Campbell) (ZAA_35339_002)
- Vaux-Aul (ZAA_35354_001)
- Vaux-Aul (ZAA_35354_002)
- Beaulieu (ZAA_35510_001)
- Méleau (ZAA_35525_001)
- Les Collines (ZAA_35700_001)
- La Courtenais (Sarron) (ZAA_35700_002)
- Vieux Boisy (ZAA_35746_001)
- La Lize (ZAA_35800_001)
- La Moraine (ZAA_35800_002)

Nombres : 27

Echelle temporelle

Horaires:

Quelques jours:

Maisonnée:

Show entries

Période

Du:

Au:

Mesure(s)

Temperature Pression







Pré-Spitations Humidité

Vitesse vent Direction vent

Station	Date	T°c min	T°c max	T°c max	Pr. max	Pr. min	Pr. max	Hum. min	Hum. max	Hum. max	PP cumulée	Vit. vent (m)	Vit. vent (min)	Vit. vent (max)	Dir. Vent dom.
Bréguigny (ZAA_35000_001)	1994-11-01 00:00:00	11.0	3.7	17.1	1011.8	987.4	1030.8	83.1	55.0	94.0	13.6	0.8	0.0	3.1	NW
Bréguigny (ZAA_35000_001)	1998-01-01 00:00:00	7.0	-3.1	14.2	1020.2	984.0	1041.7	81.7	51.0	93.0	36.6	0.7	0.0	4.5	SW
Bréguigny (ZAA_35000_001)	2003-11-01 00:00:00	8.5	0.1	14.5	998.7	986.2	1007.5	90.3	73.0	97.0	35.2	0.5	0.0	3.6	E
Bréguigny (ZAA_35000_001)	2003-12-01 00:00:00	6.2	2.2	9.9	1009.6	986.1	1022.1	90.5	80.0	97.0	19.8	0.3	0.0	2.7	W
Bréguigny (ZAA_35000_001)	2004-07-01 00:00:00	19.2	10.9	30.1	1016.0	1007.6	1025.3	70.8	31.0	93.0	5.4	0.5	0.0	2.7	NW
Bréguigny (ZAA_35000_001)	2004-08-01 00:00:00	18.9	9.3	33.4	1010.3	997.1	1020.7	72.4	26.0	93.0	53.4	0.9	0.0	4.5	SW
Bréguigny (ZAA_35000_001)	2004-09-01 00:00:00	17.1	5.4	31.7	1018.4	1006.6	1026.0	71.1	29.0	92.0	29.4	0.8	0.0	3.1	SW
Bréguigny (ZAA_35000_001)	2004-10-01 00:00:00	12.5	4.6	19.9	1007.4	989.7	1020.4	78.9	38.0	91.0	55.8	1.0	0.0	3.1	SW
Bréguigny (ZAA_35000_001)	2004-11-01 00:00:00	8.9	0.7	15.4	1022.5	1005.6	1034.3	81.3	57.0	94.0	16.2	0.6	0.0	3.1	NW
Bréguigny (ZAA_35000_001)	1988-01-01 00:00:00	5.2	-2.8	12.6	1018.8	990.1	1031.9	83.7	55.0	94.0	27.0	0.7	0.0	3.6	E

Showing 1 to 10 of 2,065 entries [Excel](#) [CSV](#)

First Previous **1** 2 3 4 5 ... 207 Next Last

Administration (intranet)

- Etat actuel et historique des stations
- Import de données

Stations

Actives
 HS
 Toutes

- Bregigny (ZAA_3500_001)
- Chancy (ZAA_3500_004)
- Fécamp (ZAA_3500_006)
- Grillon (ZAA_3500_006)
- Halber (mar) (ZAA_3500_010)
- Aquino Villejean (ZAA_3500_012)
- Les Champs Libres (ZAA_3500_013)
- Similaires de FEA (ZAA_3500_014)
- Costel (ZAA_35043_001)
- Villejean (ZAA_35043_002)
- Roterie (ZAA_35200_001)
- Sochaux (ZAA_35222_002)
- Niostamp (Campbell) (ZAA_35222_004)
- Mont-Renaud (Campbell) (ZAA_35222_005)
- Jorchev (ZAA_35222_006)
- Songréol Marais (Campbell) (ZAA_35229_002)
- Trains-la-Forêt (ZAA_35339_001)
- Trains-la-Forêt (Campbell) (ZAA_35339_002)
- Vieux-Aul (ZAA_35354_001)
- Vieux-Aul (ZAA_35354_002)
- Beaulieu (ZAA_35510_001)
- Méleau (ZAA_35525_001)
- Les Collines (ZAA_35700_001)
- La Comerais (Sarrin) (ZAA_35700_002)
- Vieux-Bouay (ZAA_35746_001)
- La Lize (ZAA_35800_001)
- La Mirraux (ZAA_35800_002)

Nombres : 27

Stations météorologiques ZAA Villejean

Consultation

Modele : Weather Monitor II
Code : ZAA_35043_002
Adresse : Université Rennes 2 - Campus Villejean 35043 Rennes

Maintenance
 En fonction : - Fiable :
 Dernier relevé : 2015-03-30
 Dernière maintenance : 2015-07-18

Commentaire

Show entries

Date	Nature	Prénom	Nom	Description
2015-07-18 00:00:00	incident	Alban	Thomas	Coupure courant à 19h08
2015-06-22 00:00:00	incident	Alban	Thomas	Coupure courant => changement pile console
2015-05-13 00:00:00	incident	Alban	Thomas	Coupure courant : dernière mesure le 3/01 au lieu du 13/05 => dates heures à corriger
2015-01-12 00:00:00	incident	Alban	Thomas	Coupure courant => changement pile console

Showing 1 to 4 of 4 entries

First Previous **1** Next Last

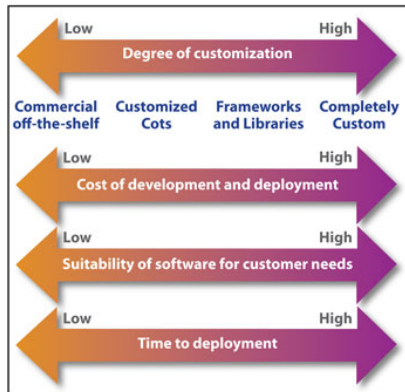
Nouvelle maintenance
 Date: Nature de l'opération: Opérateur:

Description:

Import de données
 Date de relevé:

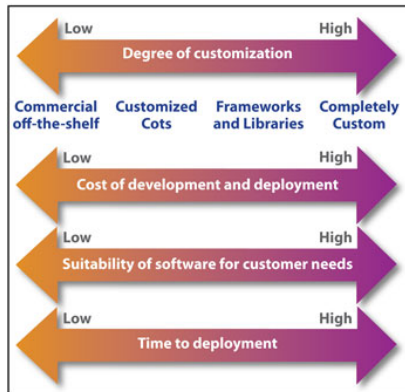
Le (manque de) choix

- Moyens
 - Le faire soi-même
 - Embaucher quelqu'un
 - Faire appel à un prestataire
- Comment répondre au projet
 - 1 Acheter un logiciel
 - 2 Personnaliser un logiciel
 - 3 Utiliser des librairies/frameworks
 - 4 Tout développer



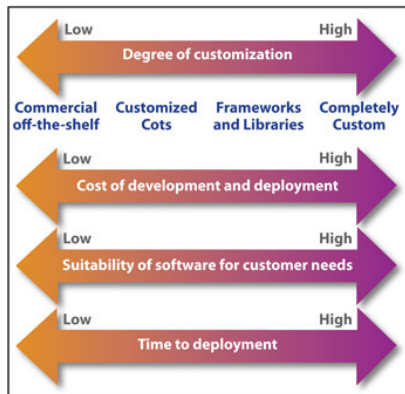
Le (manque de) choix

- Moyens
 - **Le faire soi-même** ← *Aucun budget dédié au projet*
 - Embaucher quelqu'un
 - Faire appel à un prestataire
- Comment répondre au projet
 - 1 Acheter un logiciel
 - 2 Personnaliser un logiciel
 - 3 Utiliser des librairies/frameworks
 - 4 Tout développer



Le (manque de) choix

- Moyens
 - **Le faire soi-même**
 - Embaucher quelqu'un
 - Faire appel à un prestataire
- Comment répondre au projet
 - 1 Acheter un logiciel ← *Aucun ne répondait aux objectifs*
 - 2 Personnaliser un logiciel ← *Manque de compétences*
 - 3 **Utiliser des librairies/frameworks**
 - 4 Tout développer ← *Pourquoi je re-développerais tout ?*



Budget estimé (modèle COCOMO)

```
Totals grouped by language (dominant language first):
python:          2293 (100.00%)

Total Physical Source Lines of Code (SLOC)                = 2,293
Development Effort Estimate, Person-Years (Person-Months) = 0.48 (5.74)
  (Basic COCOMO model, Person-Months = 2.4 * (KSLOC**1.05))
Schedule Estimate, Years (Months)                        = 0.40 (4.86)
  (Basic COCOMO model, Months = 2.5 * (person-months**0.38))
Estimated Average Number of Developers (Effort/Schedule) = 1.18
Total Estimated Cost to Develop                          = $ 64,575
  (average salary = $56,286/year, overhead = 2.40).
SLOCCount, Copyright (C) 2001-2004 David A. Wheeler
```

- 2300 lignes de code écrites
 - Temps : 8 mois pour un développeur
 - Coût : 57 800€
- Coût réel : 36 000€ (approximation)

→ **Attention à ne pas sous-estimer coût du projet**



Un peu d'électronique

- Connexion à console : 3 cables !
 - console équipée d'un port RJ9 / RJ10
 - (adaptateur supplémentaire pour Vantage Pro2)
 - adaptateur RJ9 / RJ10 vers série
 - adaptateur série vers USB
 - Raspberry Pi équipé de ports USB
- 2 solutions pour simplifier connexion
 - 1 **Electronique** : installer port série ou RJ10 sur Raspberry Pi
 - 2 **Davis** : achat d'enregistreurs (dans console) avec sortie USB
→ solution plus onéreuse (3 * coût Raspberry !)



rpi weather

- 1 solution
 - à prix modique : 70€
 - adaptée à nos besoins spécifiques (Weather Monitor II)
 - basée sur outils libres et formats standards
- Une expérience riche
 - montée en compétences en programmation
 - plus de recul pour les projets futurs
- Cela a un coût !
 - pas de budget pour *rpi_weather*
 - du temps donc... Heureusement, c'est un **réseau à long terme**
 - réutilisable pour d'autres réseaux (ZAA, Brésil...)
- Un projet plus large qui continue
 - qualité des données
 - mise à disposition (IDS)...



rpi weather : 1 solution embarquée ?

Système

- **électronique** et **informatique**
- **autonome** (ressources énergétiques)
- **fiable**
- souvent **temps réel**
- **spécialisé** dans une tâche bien précise
- **Ressources limitées**



rpi weather : 1 solution embarquée ?

Système

- **électronique** et **informatique** ← *oui, mais trop d'informatique*
- **autonome** (ressources énergétiques) ← *pas encore*
- **fiable** ← *beaucoup d'effort dans ce sens*
- souvent **temps réel** ← *non*
- **spécialisé** dans une tâche bien précise ← *oui*
- **Ressources limitées** ← *relativement, mais on utilise malgré tout un ordinateur*

Plus qu'un système embarqué, rpi weather est un système informatique dédié et fiable (je l'espère)

Station CR200 : 1 solution embarquée ?

Système

- **électronique** et **informatique**
- **autonome** (ressources énergétiques)
- **fiable**
- souvent **temps réel**
- **spécialisé** dans une tâche bien précise
- **Ressources limitées**



Station CR200 : 1 solution embarquée ?

Systeme

- **électronique** et **informatique** ← *oui*
- **autonome** (ressources énergétiques) ← *oui, batterie + panneau solaire*
- **fiable** ← *réputé*
- souvent **temps réel** ← *à vérifier*
- **spécialisé** dans une tâche bien précise ← *oui*
- **Ressources limitées** ← *oui*

Une station Campbell est un vrai système embarqué, que l'on peut programmer via leurs solutions logicielles



Et les drones ?

Système

- **électronique** et **informatique**
- **autonome** (ressources énergétiques)
- **fiable**
- souvent **temps réel**
- **spécialisé** dans une tâche bien précise
- **Ressources limitées**



Et les drones ?

Systeme

- **électronique** et **informatique** ← *oui*
- **autonome** (ressources énergétiques) ← *oui, batterie*
- **fiable** ← *oui, potentiellement critique*
- souvent **temps réel** ← *potentiellement (GPS)*
- **spécialisé** dans une tâche bien précise ← *oui*
- **Ressources limitées** ← *oui*

Un drone est un système embarqué lorsque l'on programme son vol



Début de l'atelier

- Qui utilise des systèmes embarqués ? Quels matériels ?
- Qui a déjà développé des systèmes embarqués (ou approchants) ?
- Qui aurait besoin de systèmes embarqués ?
- Qui a des besoins de systèmes impliquant du temps réel ?
- Qui aurait des besoins liés aux systèmes embarqués ?
 - Centralisations de données
 - Surveillance des systèmes
 - ...

