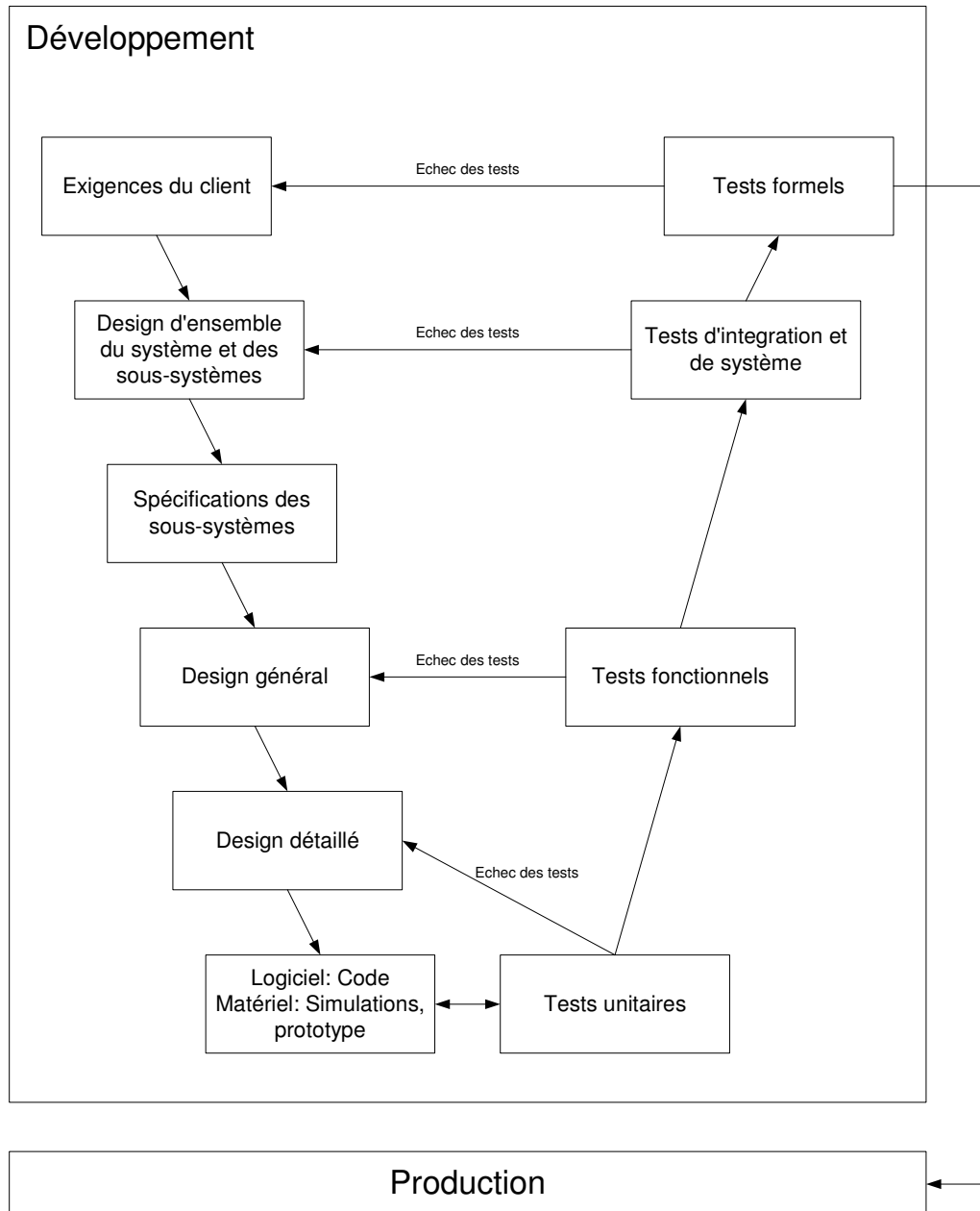


GIF-3002 Production de système microprocesseur et environnement

Ce cours discute de la production de systèmes microprocesseurs, d'un point de vue ingénierie. Il présente également plusieurs standards/normes environnementaux reliés au SMI et quelques bonnes pratiques à retenir reliées à l'environnement.

1 Développement de SMI

Habituellement, le développement de SMI suit les étapes suivantes :



Un élément intéressant à noter dans cette figure est le ratio entre l'implémentation du code et le design : un ingénieur est d'abord payé pour penser et le design devrait prendre autant de temps (sinon plus) que l'implémentation elle-même. Quant aux tests, ils prennent une large part du temps de développement d'un produit...

Il faut aussi noter qu'échouer un test n'a pas énormément de conséquences lorsqu'il s'agit d'un test unitaire, mais que cela a beaucoup de conséquences lorsque les tests finaux sont exécutés...

Il y a plusieurs modèles du développement en ingénierie. Un autre modèle est en spirale et contient également des étapes de conception, d'implémentation et de test...

2 Production de SMI

La production de SMI commence véritablement lorsqu'un prototype fonctionnel a été développé, dûment testé et ayant des fonctionnalités conformes aux exigences du client. Habituellement la production de SMI se déroule en plusieurs étapes :

- Pré-production
 - Revue du produit pour production
 - Le matériel est revu et possiblement modifié
 - Le logiciel est revu et possiblement modifié
 - Développement de la stratégie de test et des bancs d'essais
 - Le matériel est possiblement modifié pour les tests
 - Le logiciel est possiblement modifié pour les tests
- Première production à petite échelle
- Tests et validation des premières unités produites
- Production à large échelle
- Suivi de production : retour de marchandises, satisfaction du client

2.1 Pré-production

2.1.1 Revue du design matériel

Il est commun de revoir l'ensemble du design matériel avant de lancer la production. Cela a plusieurs objectifs : contre-vérifier le design, adapter le choix des composantes aux contraintes de production, optimiser le design matériel et plus.

Avant de lancer la production, l'ingénieur de production doit vérifier si toutes les composantes du design sont correctes. Une vérification commune en production, est de regarder à l'aide de simulation Monte-Carlo si le produit sera fonctionnel à l'intérieur de toutes les plages possibles de valeurs possibles des composantes. Il arrive aussi que certains essais environnementaux soient du ressort de la production.

Dans une simulation Monte-Carlo, on essaie plusieurs ensembles de valeurs possibles des composantes du circuit électronique, choisies aléatoirement, et on vérifie que le circuit opérera comme prévu pour tous les ensembles.

Prenons un filtre RLC, passe-bande, par exemple. Il faut vérifier si la résistance peut dissiper une puissance suffisante, il faut vérifier si le courant dans l'inductance ne dépasse pas les spécifications de l'inductance et, finalement, il faut s'assurer que le voltage ne dépasse pas le voltage maximum toléré par la capacité. Enfin, lorsque toutes ces vérifications sont faites (et qu'il y a une marge suffisante de sécurité), il faut vérifier si la fréquence centrale du filtre passe-bande restera correcte, par rapport aux spécifications, en fonction des tolérances de R, L et C. Évidemment, ces calculs devraient être fait lors du développement de l'appareil, mais l'ingénieur de production devrait les vérifier ou les faire, s'ils ne sont pas fait.

Il faut aussi adapter le choix des composantes aux contraintes de production :

- Certaines composantes ne seront plus disponibles ou désuètes : il faudra les remplacer.
- Certaines composantes ne sont pas disponibles dans le format final et il faut trouver des alternatives ou changer les traces du PCB
- C'est souvent lors de la première mise en boîtier que certains problèmes mécaniques apparaissent ;
- Certaines composantes ne sont simplement pas compatibles avec le procédé de production (par exemple, votre assembleur habituel ne soude pas des microprocesseurs ayant un format BGA-Ball 108 !)
- Certaines composantes, en inventaires parce qu'utilisées dans d'autres produits, sont équivalentes aux composantes du design et les utiliser permettrait de simplifier l'inventaire
- Certaines valeurs ou tolérances du design pourraient être changées pour diminuer le nombre de pièces différentes dans le design : cela réduit les coûts et simplifie la gestion de l'inventaire de pièces.
- Certains fabricants peuvent éprouver des problèmes de production ou d'acheminement. Si deux composantes ont des rôles similaires dans un circuit électrique, il apparaît normal de choisir la pièce qui est produite par plusieurs fabricants ou pour laquelle il existe des pièces équivalentes.
- Etc.

Enfin, l'ingénieur de production peut devoir optimiser le design, en termes de coûts de production. Plusieurs optimisations sont possibles : changer une partie du design pour un circuit équivalent moins dispendieux, changer une composante pour une composante équivalente moins dispendieuse, changer les composantes pour uniformiser les valeurs le plus possible, changer les composantes en raison d'ententes avec des fournisseurs (certains fabricants de pièces électronique donnent des réductions de coût s'ils fournissent plusieurs pièces d'un même circuit), etc.

2.1.2 Choix des composantes électriques

Pour toutes les composantes électroniques et pour tous circuits intégrés, il y a toujours au moins deux paramètres à vérifier lorsque l'on utilise la composante. Le premier paramètre est la valeur de la composante. Le deuxième paramètre est relié aux conditions électriques maximales (courant, voltage, puissance) que peut supporter la composante avant d'être endommagée.

Pour tous les circuits intégrés, incluant les microprocesseurs, on retrouve habituellement une section Absolute Maximum Ratings qui décrit les pires conditions électrique que peut tolérer le circuit intégré avant d'être endommagé. Ce ne sont pas des conditions d'utilisation, mais des valeurs maximales avant dégradation permanente du matériel.

Comme dirait monsieur André Desbiens, les profits maximums sont obtenus lorsque tu t'accotes sur la contrainte : surdimensionner une pièce augmente les coûts

inutilement. Par exemple, choisir une capacité qui supporte 200V pour découpler une alimentation de 12V est correct, mais choisir une capacité qui supporte 25V serait beaucoup moins cher, plus petit et probablement tout aussi correct...

En production, le designer a déjà probablement validé l'ensemble des paramètres des composantes utilisées. Cependant, d'autres critères que la fonctionnalité peut amener le responsable de la production à choisir des composantes différentes que celles du prototype développé, comme vu dans la section précédente.

Le Bill Of Material (BOM) est une liste de prix de toutes les composantes d'un appareil électronique. On y retrouve la quantité de chaque pièce, son prix unitaire, les désignateurs de la pièce sur le schéma électrique, les sous-totaux et le prix total des pièces de l'appareil électronique.

Une partie fondamentale de l'appareil électronique est le Printed Circuit Board (PCB). Le PCB est support fait de diélectrique contenant des traces de cuivre pour véhiculer des signaux électriques et des pads pour y souder des pièces du circuit. Le prix unitaire d'un PCB varie beaucoup en fonction de sa taille, du nombre de couches et du nombre de PCBs produits. En effet, les frais fixes pour la production du premier PCBs sont habituellement très grands (quelques centaines de dollars) par rapport aux frais des PCBs suivants (quelques dollars maximum).

Si le temps le permet, le procédé de fabrication du PCB sera présenté en classe ainsi qu'une discussion sur les couches des PCBs et leurs rôles.

2.1.3 Revue du design logiciel

Une revue de logiciel, dans le cadre de la production, comporte plusieurs aspects : entre autres, il faut vérifier que le code est conforme aux standards de la compagnie (commentaires, nomenclature, format des versions...), il faut revoir le code en entier et il faut vérifier si des modifications au code pourraient faciliter les tests de production.

Il n'y a pas de standard officiel pour la programmation. La plupart des compagnies ou organisation ont adopté leurs propres règles quant aux noms des variables, aux commentaires, aux présentations des fichiers, etc. Il appartient parfois au groupe de production de s'assurer que les logiciels utilisés en production ou dans les produits finis respectent les standards de l'organisation.

Une bonne revue de code devrait toujours être faite avant la production. Dans certains endroits, le code est même parfois réécrit de fond en comble... La liste qui suit est une liste non-exhaustive d'items qui devraient être vérifiés dans une revue de code rigoureuse :

- Tous les cas d'un branchement conditionnel ou d'un switch case sont convenablement traités.
- Toutes les variables sont écrites dans un seul contexte, les exceptions à cette règle sont bien documentées.

- Tous les indices de tableaux ne peuvent pas dépasser la taille maximale du tableau.
- Tous les pointeurs sont correctement initialisés et pointent toujours sur une plage de mémoire prédéfinie.
- La pile et le heap ont une taille suffisante avec une marge de sécurité très large.
- Les interruptions sont exécutées rapidement et permettent l'exécution d'une boucle de main dans un temps raisonnable.
- Le code possède des filets de sécurité : en cas d'exception ou d'erreur imprévue, des mécanismes permettent de rétablir le fonctionnement normal du microprocesseur (exemples : watchdog, reset lors d'exception, validations de valeurs dans le code).
- ...

Enfin des modifications au code peuvent aider la production. Il est commun d'utiliser des pilotes de périphériques disponibles afin d'implémenter des self-tests dans l'appareil produit, d'implémenter des tests de fonctionnalités déclenchés par des boutons ou, encore, de concevoir un logiciel de test embarqué spécialement pour la production.

2.1.4 Banc d'essais

Une tâche importante de l'ingénieur de production est la préparation des bancs d'essais et l'établissement de la chaîne de production (voir production plus loin).

Les bancs d'essais permettent de tester le produit à plusieurs étapes de sa fabrication. Plus un défaut est trouvé tôt dans la chaîne de production, moins le défaut coûte cher. Cependant, plus il y a de banc d'essais, plus les tests sont onéreux.

Le développement des bancs d'essais devrait commencer en même temps que le développement du produit à tester. Un banc d'essai est un produit en soit !

2.2 Production

2.2.1 Achat des composantes et temps de livraison

Avant de souder toutes les composantes ensemble, il faut les avoir ! Voici quelques points importants à retenir à propos de la commande de pièces :

- Certaines pièces ont des délais de livraisons (lead time) très importants (plusieurs semaines, voire plusieurs mois). Les pièces en stock ou en inventaire sont habituellement disponibles à l'intérieur d'une semaine.
- Le prix des pièces varient beaucoup avec la quantité : acheter des pièces à l'unité coûtera généralement beaucoup plus cher qu'en grande quantité. Il est fréquent de voir, par exemple, une réduction du coût de 30% d'une même composante si on en achète 1000 plutôt que 1.
- Certaines pièces peuvent devenir désuètes, ne plus être produites par le manufacturier, être non-disponibles, etc. Lors de l'achat de pièces, il est commun de devoir chercher des pièces équivalentes

- En raison des éléments précédents, il faut toujours prévoir un budget additionnel pour les surplus d'inventaires et l'entreposage des surplus d'inventaires.

Habituellement, il faut acheter plus de pièces que le nombre d'unité que l'on veut produire. Entre 0% et 25% en fonction de la pièce et de la probabilité de production subséquente.

Il faut également produire plus d'unités (entre 2% et 25%) que ce que l'on veut vendre pour compenser les unités défectueuses et les retours de marchandises.

2.2.2 Chaîne de montage

Une chaîne de montage de circuit électronique comprend habituellement les étapes suivantes (les étapes en gras sont les étapes obligatoires):

- Inspection préliminaire des pièces et des PCBs au besoin
- Préparation des pièces et des PCBs au besoin : certains circuits intégrés doivent être préchauffés pour évacuer l'humidité.
- **Préparation en vue de la soudure : de la pâte d'étain est mise sur le PCB et les pièces sont placées sur la pâte.**
- **Soudure des pièces surface-mount (reflow soldering)**
- **Soudure manuelle des grosses pièces**
- Tests et inspection des PCBs individuels, peut se faire sur des échantillons
- Calibration des PCBs individuels au besoin
- **Assemblage des PCBs constituant le produit**
- Test du produit assemblé, peut se faire sur des échantillons
- Calibration du produit individuel au besoin
- Mise en boîtier du produit
- Test du produit mis en boîtier au besoin, peut se faire sur des échantillons
- Ajouts de protections contre l'humidité au produit : vernissage, epoxy, autres
- Test du produit protégé, peut se faire sur des échantillons
- Préparation du produit pour la vente : étiquettes, programmation finale, etc.
- **Test du produit fini, peut se faire sur des échantillons**
- Tests de longévité sur le produit fini avec des échantillons.

2.2.3 Tests et analyse des défauts

On retrouve des tests et des inspections tout au long du processus de production. De manière universelle, plus un défaut est trouvé tôt dans le processus de production, moins ce défaut coûtera cher (le pire cas est un défaut trouvé par le client dans un produit fini !). Cependant, tous les tests ont leur coût, que ce soit en temps ou en main-d'œuvre.

La plupart du temps, le coût associé à un défaut de production augmente exponentiellement lorsqu'on franchit une étape de production. Par exemple, si on construit un photomètre électronique pour gérer l'éclairage d'une rue, à partir du microcontrôleur X (les valeurs qui suivent ne sont pas exactes!!!):

- *Le die du microcontrôleur coûtera 0.30\$...*

- *Le microcontrôleur coûtera 3\$...*
- *Le photomètre coûtera 30\$ en pièces et main-d'œuvre à produire...*
- *Installer le photomètre dans un poteau coutera 300\$...*

Lorsqu'un défaut est trouvé en production, ce défaut peut provenir de plusieurs sources : il y a une erreur avec les pièces sur le PCB (mauvaise soudure, mauvaise composante installée, composante défectueuse), l'assemblage est incorrect (mauvaise soudure, problème mécanique), erreur de banc de test (un produit est déclaré défectueux alors qu'il ne l'est pas ou un produit n'est pas déclaré défectueux alors qu'il l'est), erreur de chaîne de production est incorrecte (exemples: mauvais logiciel ou mauvaise calibration dans le produit fini) et même le design est incorrect. Il convient de rester l'esprit ouvert lorsque l'on cherche la cause d'un défaut !

Dans tous les processus de production, il est nécessaire d'établir des statistiques sur les taux de rejets, les causes d'erreurs et de toujours chercher pourquoi les produits échouent en production afin d'améliorer le produit ou la séquence de test. Ces statistiques permettent d'autres opérations comme l'ajustement du coût du produit en fonction du nombre du taux de succès (rendement).

Les taux de rejets des productions de systèmes microprocesseurs sont habituellement entre 2% et 5% pour la première production, avant analyse et correction des défauts. Pour les productions subséquentes de produit et s'il n'y a pas d'erreur de design, les taux de rejets devraient être sous 2%, voire sous 1%.

Il y a essentiellement trois stratégies utilisées afin de tester un circuit imprimé populé: les tests fonctionnels, les tests « In-Circuit-Tests » (ICT) et les tests par JTAG.

Bien souvent, plusieurs de ces stratégies (voire toutes !) sont utilisées lors d'une même production...

2.2.3.1 Tests Fonctionnels

Les tests fonctionnels s'exécutent en branchant des appareils de test sur les interfaces du produit sous test. Ensuite, on valide que le produit opère correctement. Des cartes d'acquisition digitales et/ou analogiques ainsi que des appareils de communication injectent ou lisent des signaux reliés à l'opération de l'appareil.

Habituellement, on branche des connecteurs à l'unité sous test (UST), mais il arrive souvent que des clous fassent contact avec les interfaces de l'UST : brancher des connecteurs est fastidieux.

Les tests fonctionnels sont simples, cependant ils détectent rarement tous les défauts parce que le produit peut fonctionner sur le banc d'essai tout en étant partiellement défectueux.

2.2.3.2 In-Circuit Tests

Un banc de test In-Circuit-Test (ICT) valide les valeurs de toutes les composantes installées sur le nid de clous. Des pogo-pins sont poussées sur le circuit imprimé entre chaque composante et les valeurs de celles-ci sont mesurées en injectant des signaux très locaux.

Les tests ICT utilisent un nid-de-clou : l'ensemble des pogo-pins. L'UST est déposé sur le nid afin d'être testé. Il faut aussi des appareils de test pour injecter des signaux sur chaque clou et lire des signaux afin de valider si les composantes de l'UST sont correctes.

Par rapport aux tests aux tests fonctionnels, les tests ICTs ont les avantages et désavantages suivants :

- Avantage : Détecte facilement les défauts de manufacture : composant incorrect; valeur de composant incorrecte; diodes, transistors ou autre CI mal orienté, court-circuits ou circuits ouverts.
- Avantage : Les composantes défectueuses sont identifiées individuellement.
- Avantage : Le banc de test est facile à programmer à partir des schémas de l'UST.
- Désavantage : Le nid de clous est dispendieux et requiert de la maintenance (les clous doivent être changés périodiquement)
- Désavantage : Il est difficile de changer le banc de test. Les clous sont à des endroits fixes...

Les bancs de test ITC ne peuvent tout tester : par exemple il peut être impossible de mesurer des composantes en parallèle. Cependant, entre 95% et 99% des pièces peuvent habituellement être testées.

Les tests ITCs se font souvent en deux parties, une partie sans alimentation (power OFF !) et une partie avec alimentation (power ON). Pour tester les

Le MDA (Manufacturing Defect Analyser) est un appareil similaire au banc d'essai ICT, mais moins performant : la machine est beaucoup moins dispendieuse, mais elle permet moins de tests. Il existe quelques types d'ICT.

2.2.3.3 JTAG

Les circuits intégrés sont de plus en plus petits et le nombre de broches possibles par unité de surface a augmenté considérablement lors des dernières années. Dans notre ère de miniaturisation, il devient impossible, pour certains appareils électroniques ou microcontrôleurs, de tester avec des clous : il n'y a pas assez d'espace ; les circuits sont trop denses.

La norme IEEE 1149.1 présente une solution à ce problème : le JTAG.

Ce dernier sera présenté à partir du document suivant :

http://people.ee.duke.edu/~krish/teaching/ECE269/boundaryscan_tutorial.pdf.

2.3 Suivi de production

2.3.1 Satisfaction du client

Toute bonne production est accompagnée de sondage (peut être un coup de téléphone!) auprès du client pour évaluer son niveau de satisfaction par rapport au produit.

2.3.2 Retour de marchandises

Il est fréquent de voir des retours de marchandise en électronique (RMA). Un RMA coûte cher, soit en temps/main-d'œuvre/pièces, soit en réputation, soit les deux! Néanmoins, l'analyse et le traitement des RMAs fait partie du processus de production et devrait être planifié avant la production.

3 Aspects écologiques

Il y a plusieurs façon de concevoir un produit électronique plus respectueux de l'environnement : faire des produits ayant une longue durée de vie, faire des produits peu énergivores, respecter les normes environnementales...

3.1 Durée de vie des produits

3.1.1 MTBF

La façon classique de calculer la durée d'un produit en électronique est de calculer le temps moyen avant l'échec d'un produit (MTBF = Mean Time Before Failure).

Le MTBF est le temps moyen avant un échec du produit pendant son opération. Autrement dit, si un produit a une MTBF de 100 000 heures, cela signifie que le produit, en moyenne, sera défectueux après 100 000 heures.

$$MTBF = \frac{\sum \text{Temps d'opérations}}{\text{Nombre de défaillances}}$$

La MTBF est toujours calculée selon des conditions d'opérations précises. Par exemple, un produit électronique aura une MTBF de 100 000 heures s'il opère à 25C, avec un facteur d'humidité <= 20%, s'il contrôle une charge de moins de X ampères et ainsi de suite.

*La MTBF n'est pas un synonyme de la durée de vie. Par exemple, une pile fournissant 1.3A*heures peut avoir une MTBF de 100000 heures...*

La MTBF ne signifie pas nécessairement qu'un produit a 50% de chance de tomber en panne avant le temps spécifié par la MTBF et 50% de chance de tomber en panne après la MTBF. Si les temps de panne suivent une distribution de poisson par exemple avec une moyenne = MTBF, un produit a 63.21% de chances de tomber en erreur avant la MTBF.

$$\text{Densité de probabilité d'échecs} = f(t, MTBF) = \frac{1}{MTBF} e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

Il est possible de fausser les valeurs de MTBF et il faut toujours prendre cette donnée avec circonspection. Par exemple, on peut tester 1000 disques durs neufs pendant 100 heures et déclarer, après ne pas avoir constaté d'échec, que la MTBF des disques durs est de 100 000 heures, même si les disques durs n'ont tourné que 100 heures...

Il est possible de calculer la MTBF d'un produit à partir des MTBFs de l'ensemble de ses composantes. Comme il existe plusieurs façons d'estimer les densités de probabilités des composantes, il existe plusieurs façons d'estimer la MTBF d'un produit à partir de la MTBF de ses composantes. Avant d'établir la MTBF d'un produit, il est nécessaire de bien choisir la méthode de calcul...

3.1.2 Limites à la durée de vie

Beaucoup de composantes ont des limitations par rapport à leur durée de vie. Voici quelques exemples communs en électronique :

- Les mémoires FLASH et EEPROM ont un nombre maximum de cycle d'écriture. Par exemple, une mémoire EEPROM peut supporter 100 000 cycles d'écriture selon ses spécifications.

Le nombre de cycles d'écriture supporté par une mémoire FLASH ou EEPROM n'est pas égal au nombre absolu d'opérations d'écriture de la mémoire, ni au nombre d'octets qui sont écrits. Il s'agit plutôt d'un estimé basée sur une opération typique de la mémoire. Par exemple, si la mémoire est écrite de façon quasi-uniforme (si on écrit à chaque adresse de la mémoire à tour de rôle par exemple), le nombre réel d'écritures qui sera supporté par le mémoire sera plus grand que le nombre spécifié de cycles d'écriture. À l'opposé, si on écrit toujours le même octet de la mémoire, le nombre de cycles d'écriture réel de la mémoire peut être inférieur à la spécification.

- Les piles et batteries fournissent une énergie limitée.
- Les relais, les triacs ou autres appareils de commutation ont un nombre de commutations limité qui dépend de la charge commutée.
- Les condensateurs vieillissent : leurs électrolytes s'évaporent. Leurs valeurs changent avec l'âge ou ils cessent d'opérer...

La Loi d'Arrhenius peut prédire de façon assez précise la durée de vie d'un condensateur en fonction du voltage et de la température d'opération. Cette loi décrit la vitesse d'une réaction chimique en fonction de la température (voir http://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_d%27Arrhenius pour plus d'information).

- L'humidité est l'ennemi numéro 1 des systèmes électroniques... Dans le cas des microcontrôleurs et microprocesseur l'humidité peut causer des court-circuits entre les broches (souvent petites et proche les unes des autres). Elle peut aussi briser le circuit intégré lorsque celui-ci est soudé sur le PCB (les particules d'eau s'étant infiltré sous le plastique du circuit intégré s'évapore brutalement lors de la soudure et font exploser le boîtier. Enfin, l'humidité fait rouiller...

3.2 Consommation énergétique

Dans le monde des systèmes microcontrôleurs, la consommation d'énergie est un souci permanent. C'est plus qu'une considération environnementale, car beaucoup d'applications embarquées fonctionnent sur des piles/batteries. Néanmoins voici quelques techniques qui peuvent aider à limiter la consommation de puissance de vos SMIs :

- Utiliser les modes de veilles, dormances, stand by des microcontrôleurs et microprocesseurs lorsque le micro est inactif. Il est aussi souvent possible de désactiver temporairement certains périphériques du système...
- Limiter les courants utilisés pour les Entrées/Sorties. Il peut s'agir d'utiliser une LED de 2mA plutôt qu'une LED de 20mA par exemple...

- Augmenter l'efficacité des power supplies lorsque possible. Bien qu'utiliser un power supply SMPS coûte souvent plus cher qu'un power supply linéaire, cela peut s'avérer payant d'un point de vue consommation énergétique.
- Utiliser les plus basses tensions d'alimentation possibles et éviter les de trop grandes différences d'amplitude de voltage entre la sortie du transfo d'alimentation et les alimentations internes.

3.3 Normes environnementales

Plusieurs normes environnementales entourent les SMI. Vous retrouverez une description sommaire de quelques-unes de ces normes dans cette section.

3.3.1 Energy Star

L'étiquette Energy Star a été créée par le gouvernement américain en 1992 pour réduire les émissions de gas de à effet de serre. L'EPA (Environmental Protection Agency) a conclu des accords avec la communauté européenne en 2001 pour étendre cet étiquette en Europe aussi bien qu'en Amérique du Nord.

L'étiquette Energy Star identifie des produits qui permettent des économies significatives d'énergie à la grandeur du pays ou qui offrent les mêmes fonctionnalités que des produits équivalents, tout en consommant moins d'énergie. Même si un produit Energy Star est plus dispendieux que ses compétiteurs, on assume que l'investissement additionnel sera rentabilisé grâce à l'économie d'énergie.

L'étiquette Energy Star s'applique dans plusieurs domaines : les électroménagers, les maisons, les lampes... Cette étiquette s'applique aux ordinateurs et aux systèmes informatiques embarqués !

Si le temps le permet, plus de détails tirés de <http://www.energystar.gov/> seront présentés en classe.

3.3.2 EPEAT

EPEAT est un système de classification des ordinateurs, portables, stations de travail, notebooks et plus. Il s'agit d'un système qui évalue les performances écologiques des ordinateurs selon 23 critères (et 28 critères optionnels). Une cote EPEAT Bronze, EPEAT Silver ou EPEAT Gold est attribué à l'ordinateur en fonction de l'évaluation de telle sorte que le consommateur puisse choisir un produit plus écologique.

Les grandes lignes de l'EPEAT seront présentées en classe, plus de détails se retrouve à <http://www.epeat.net/> ou dans la norme IEEE 1680 (1680.1, 1680.2, 1680.3-automne 2012).

Voici la liste des catégories des critères EPEAT :

- Reduction/elimination of environmentally sensitive materials
- Material selection
- Design for end of life

- Product longevity/life extension
- Energy conservation
- End-of-life management
- Corporate performance
- Packaging

3.3.3 RoHS

La directive 2002/95/CE, ou RoHS est un standard européen qui limite la quantité de substances toxiques à l'intérieur de plusieurs équipements électriques et électroniques.

Six substances sont visées par la directive, soit le plomb, le cadmium, le mercure, le chrome hexavalent, les polybromobiphényles (PBB) et les polybromodiphényléthers (PBDE).

Par rapport aux SMI, cette directive a eu un impact certain, parce que le plomb était utilisé beaucoup, particulièrement dans les alliages pour la soudure (plomb et étain).

Les grandes lignes du WEEE seront présentées en classe. Pour plus de détails, voir http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm, directive 2002/95/CE.

Notez que la norme RoHS a été mise à jour en 2011, afin d'en permettre une meilleure application. De nombreuses exemptions ont été créées pour qu'il soit possible de respecter la norme dans plus de cas. Par exemple, la norme demandait 0% de plomb. Maintenant, il est possible d'avoir un faible % (plus en ppm –parties par million- qu'en % !) de plomb afin de réduire la température de fusion de l'étain utilisé pour les soudures...

3.3.4 WEEE (DEEE en français!)

La Waste Electrical and Electronic Equipment directive (Déchets d'équipements électriques et électroniques) est devenue une loi européenne en 2003. Il s'agit d'une loi qui impose la récupération et le recyclage des équipements électriques et électroniques aux fabricants des équipements.

Selon cette loi, les fabricants doivent au moins fournir aux clients la possibilité de retourner les produits usagés, sans frais. Les fabricants doivent ensuite récupérer les produits usagés ou en disposer de manière écologique.

Les grandes lignes du WEEE seront présentées en classe. Pour plus de détails, voir http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm, directive 2002/96/CE.