

# EN224 - Test et vérification

ALBERTY Maxime

26 février 2021

## Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Software</b>	<b>2</b>
2.1	Etape 1 . . . . .	2
2.2	Etape 2 . . . . .	2
2.3	Etape 3 . . . . .	3
2.4	Etape 4 . . . . .	4
2.5	Etape 5 . . . . .	4
2.6	Etape 6 . . . . .	5
2.7	Etape 7 . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Hardware</b>	<b>7</b>
3.1	Etape 1 . . . . .	7
3.2	Etape 2 . . . . .	8
3.3	Etape 3 . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>9</b>

# 1 Introduction

Ce TP a pour but de découvrir différentes méthodes de test et vérification dans le développement de composants logiciels et matériels.

## 2 Software

### 2.1 Etape 1

L'implémentation de la fonction PGCD fût une simple traduction de l'algorithme présenté en langage C.

```
1 int PGCD(int A, int B)
2 {
3     while(A != B){
4         if (A > B){
5             A = A - B;
6         } else {
7             B = B - A;
8         }
9     }
10    return A;
11 }
12
```

Cependant il est important de rester concentré, car même si l'algorithme est trivial, une étourderie est vite arrivé et peut faire perdre du temps inutilement.

Le test de la fonction est effectué au moyen de couples de valeurs d'on aura préalablement calculé le PGCD.

```
1 printf("PGCD(1024,800) = %d\n",PGCD(1024,800));
2 printf("PGCD(800,1024) = %d\n",PGCD(800,1024));
3 printf("PGCD(32767,65535) = %d\n",PGCD(32767,65535));
4 printf("PGCD(65535,32767) = %d\n",PGCD(65535,32767));
5 printf("PGCD(512,2048) = %d\n",PGCD(512,2048));
6 printf("PGCD(2048,512) = %d\n",PGCD(2048,512));
7 printf("PGCD(458,6272) = %d\n",PGCD(458,6272));
8 printf("PGCD(6272,458) = %d\n",PGCD(6272,458));
9 printf("PGCD(783,125) = %d\n",PGCD(783,125));
10 printf("PGCD(125,783) = %d\n",PGCD(125,783));
```

Il faut ensuite comparer manuellement les résultats aux calculs.

### 2.2 Etape 2

Afin de pouvoir test plus de valeurs sans avoir à dupliquer les lignes de tests, nous ajoutons une génération aléatoire des valeurs de A et B comprises entre 0 et 65535.

```
1 #define MAXRAND 65535
2 #define MINRAND 0
3
4 int RandA(void){
5     int A = (rand() % (MAXRAND + 1 - MINRAND)) + MINRAND;
6     return A;
7 }
8
9 int RandB(void){
10    int B = (rand() % (MAXRAND + 1 - MINRAND)) + MINRAND;
11    return B;
12 }
```

En ajoutant une boucle FOR dans le main, on peut ainsi test beaucoup plus de valeurs.

```
1 for(int i = 0 ; i < 200000 ; i++){
2     A = RandA();
3     B = RandB();
4     printf("%d\t%d\t%d\t%d\n", i, A, B,PGCD(A, B));
5 }
```

Avec l'ajout de cette fonctionnalité, j'ai pu remarquer que la fonction PGCD ne prenait pas en compte les cas où  $A = 0$  ou  $B = 0$ . Conformément à l'annexe du sujet, la fonction PGCD devient alors :

```

1 int PGCD(int A, int B)
2 {
3     while(A != B){
4         if (A==0) return B;
5         if (B==0) return A;
6         if (A > B){
7             A = A - B;
8         } else {
9             B = B - A;
10        }
11    }
12    return A;
13 }

```

La vérification des résultats de la fonction PGCD est possible mais beaucoup trop longue car il est nécessaire de comparer manuellement les résultats avec les calculs préalablement effectués.

## 2.3 Etape 3

Afin de tester plus de couple d'entrée, il peut être intéressant de comparer ma fonction PGCD avec une autre déjà éprouvée. La nouvelle approche est la suivante :

- Assignez à  $N_1$  la valeur de  $N_2$  et à  $N_2$  la valeur du reste de la division de  $N_1$  par  $N_2$ ,
- Recommencez jusqu'à ce que le reste de la division soit nul,
- A ce moment,  $N_1$  contient alors le PGCD de  $N_1$  et  $N_2$ .

Cette approche correspond à cette fonction C :

```

1 int PGCD2(int A, int B){
2     int reste;
3
4     while(B != 0){
5         reste = A % B;
6         A = B;
7         B = reste;
8     }
9     return A;
10 }

```

En modifiant la boucle de l'étape 2, il est possible de tester plus de valeur en comparant le résultat des fonctions PGCD1 et PGCD2.

```

1 for(i = 0 ; i < 65536 ; i++){
2     A = RandA();
3     B = RandB();
4     pgcd_1 = PGCD1(A,B);
5     pgcd_2 = PGCD2(A,B);
6     test = (pgcd_1==pgcd_2)?true:false;
7     printf("%d\t%d\t%d\t%d\t%d\n", i, A, B,PGCD1(A, B), test);
8 }

```

Cette méthode nous permet de comparer les résultats de deux fonctions effectuant la même opération mais avec des approches différentes. Seulement si les deux fonctions ont des résultats identiquement faux pour des couples de valeurs, le test sera positif au lieu d'indiquer une erreur de calcul.

## 2.4 Etape 4

La vérification des résultats peut commencer en assurant une cohérence entre les valeurs d'entrée et de sortie de la fonction PGCD. Cela est réalisé par des assertions.

```
1 int PGCD(int A, int B)
2 {
3     //Pre-condition
4     assert(A>=0);
5     assert(B>=0);
6     assert(A<=65535);
7     assert(B<=65535);
8
9     while(A != B){
10         if (A > B){
11             A = A - B;
12         } else {
13             B = B - A;
14         }
15     }
16     return A;
17 }
```

Ces assertions vont permettre d'assurer que les valeurs de  $A$  et  $B$  font partie de la plage des valeurs pour laquelle la fonction est conçue.

Les pré-conditions ont pour objectif de détecter au plus tôt les erreurs, afin d'alerter le concepteur en stoppant l'exécution du programme. Elles n'empêchent pas l'erreur de se produire mais permettent d'éviter le déroulement du programme dans des conditions connues comme mauvaises.

On notera également que les assertions ne servent que pour le développement. Lors de la compilation de la version finale du programme, il faut désactiver les assertions.

```
1 gcc mon_prog.c -o mon_prog //Compilation avec les assertions
2 gcc mon_prog.c -o mon_prog -NDEBUG //Compilation sans les assertions
```

## 2.5 Etape 5

En plus de vérifier si les données fournis à la fonction sont conformes, on va vérifier que le résultat est cohérent.

- La valeur de sortie ne peut pas être plus grande qu'une des valeurs d'entrée,
- Si  $A \neq 0$  et  $B \neq 0$ , la valeur à la sortie de la boucle WHILE ne peut pas être également à 0.

```
1 int PGCD(int A, int B)
2 {
3     int firstA = A;
4     //pre-condition
5     assert(A>=0);
6     assert(B>=0);
7     assert(A<=65535);
8     assert(B<=65535);
9     while(A != B){
10         if(A == 0) return B;
11         if(B == 0) return A;
12         if (A > B){
13             A = A - B;
14         } else {
15             B = B - A;
16         }
17     }
18     //Post-condition
19     assert(A > 0);
20     assert(A <= firstA);
21     return A;
22 }
```

Les post-condition fonctionnent de la même manière que les pré-conditions. Elles permettent de vérifier que le résultat de la fonction est mathématiquement cohérent avec ses entrées. Elles ne permettant pas de valider le fonctionnement de la fonction mais de détecter des cas d'erreurs connus.

## 2.6 Etape 6

Dans cette partie, nous séparons la fonction PGCD dans un fichier spécifique. Le nouveau fichier PGCD.c contient donc le code suivant :

```
1 #include "assert.h"
2 #include "pgcd.h"
3
4 int PGCD(int A, int B)
5 {
6     assert((A>=0) & (B>=0));
7     while(A != B){
8         if(A == 0) return B;
9         if(B == 0) return A;
10        if (A > B){
11            A = A - B;
12        } else {
13            B = B - A;
14        }
15    }
16    assert(A > 0);
17    return A;
18 }
```

Afin d'utiliser notre fonction dans le fichier main.c, il faut créer un fichier PGCD.h.

```
1 #ifndef _PGCD_H
2 #define _PGCD_H
3
4 int PGCD(int A, int B);
5
6 #endif
```

Le fichier main.c est alors comme suit :

```
1 #include "stdio.h"
2 #include "stdlib.h"
3 #include "math.h"
4 #include "assert.h"
5
6 #include "pgcd.h"
7
8 int main (int argc, char * argv []){
9     printf("(II) Starting PGCD program\n");
10
11     assert(PGCD(1024,800)==32);
12
13     assert(PGCD(32767,65535)==1);
14
15     assert(PGCD(512,2048)==512);
16
17     assert(PGCD(458,6272)==2);
18
19     printf("(II) End of PGCD program\n");
20     return 0;
21 }
```

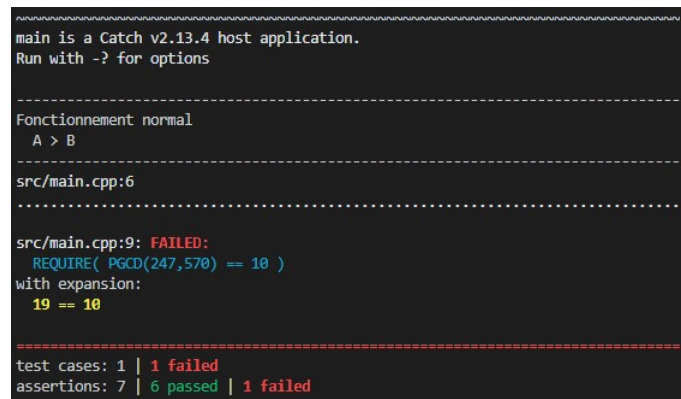
Les tests unitaires permettent de vérifier le fonctionnement d'une fonctionnalité pendant son développement. Ainsi on vérifie si les modifications que l'on apporte nous pas créer de bug. On parlera alors de test de non-régression.

## 2.7 Etape 7

Il existe de framework permettant de simplifier la rédaction des procédures de test et l'analyse des résultats. Dans cet exercice, le framework Catch2 va permettre d'exprimer des séquences de tests.

```
1 #include "pgcd.hpp"
2 #define CATCH_CONFIG_MAIN
3 #include "catch.hpp"
4
5 TEST_CASE ( "Fonctionnement normal", "[PGCD]" ){
6     SECTION("A > B"){
7         REQUIRE( PGCD(1250,570) == 10 );
8         REQUIRE( PGCD(5615,1248) == 1 );
9         REQUIRE( PGCD(247,570) == 19 );
10        REQUIRE( PGCD(14796,570) == 6 );
11    }
12    SECTION("A < B"){
13        REQUIRE( PGCD(6580,9896) == 4 );
14        REQUIRE( PGCD(1250,3245) == 5 );
15        REQUIRE( PGCD(1250,2000) == 250 );
16        REQUIRE( PGCD(1250,1251) == 1 );
17    }
18    SECTION("A = B"){
19        REQUIRE( PGCD(25,25) == 25 );
20        REQUIRE( PGCD(1250,1250) == 1250 );
21        REQUIRE( PGCD(100,100) == 100 );
22        REQUIRE( PGCD(8000,8000) == 8000 );
23    }
24 }
25
26 TEST_CASE ( "Fonctionnement autre", "[PGCD]" ){
27     SECTION("A > B"){
28         REQUIRE( PGCD(65535,570) == 15 );
29         REQUIRE( PGCD(1248,0) == 1248 );
30         REQUIRE( PGCD(570,0) == 570 );
31         REQUIRE( PGCD(42,0) == 42 );
32     }
33     SECTION("A < B"){
34         REQUIRE( PGCD(42,65535) == 3 );
35         REQUIRE( PGCD(1,65535) == 1 );
36         REQUIRE( PGCD(0,480) == 480 );
37         REQUIRE( PGCD(0,42) == 42 );
38     }
39     SECTION("A = B"){
40         REQUIRE( PGCD(65535,65535) == 65535 );
41         REQUIRE( PGCD(0,0) == 0 );
42     }
43 }
```

Dans le cas où des erreurs sont détectées, l'affichage est le suivant :



```
main is a Catch v2.13.4 host application.
Run with -? for options

-----
Fonctionnement normal
  A > B
-----
src/main.cpp:6
.....

src/main.cpp:9: FAILED:
  REQUIRE( PGCD(247,570) == 10 )
with expansion:
  19 == 10

-----
test cases: 1 | 1 failed
assertions: 7 | 6 passed | 1 failed
```

FIGURE 1 – Exemple d'affichage en cas de test échoué

Dans le cas contraire, on retrouvera l'affichage suivant :

```
All tests passed (8 assertions in 1 test case)
```

FIGURE 2 – Exemple d’affichage en cas de test réussi

Cependant, si une erreur se produit dans une section, cette dernière est abandonnée pour passer à la suivante. Si d’autres erreurs sont présentes sur d’autres cas de la section, elles ne seront pas visibles. Nous n’obtenons pas un rapport total des tests.

## 3 Hardware

### 3.1 Etape 1

De même que pour l’étape 1 de la partie software, il faut décrire un module VHDL permettant d’implanter le calcul du PGCD de deux nombres. Le module aura le prototype suivant :

```
1 ENTITY PGCD IS
2 PORT (
3     CLK      : in  STD_LOGIC;
4     RESET    : in  STD_LOGIC;
5
6     idata_a   : in  STD_LOGIC_VECTOR (31 downto 0);
7     idata_b   : in  STD_LOGIC_VECTOR (31 downto 0);
8     idata_en  : in  STD_LOGIC;
9
10    odata     : out STD_LOGIC_VECTOR (31 downto 0);
11    odata_en  : out STD_LOGIC
12 );
13 END PGCD;
```

Le module VHDL fonctionne grâce à la machine à état ci-dessous :

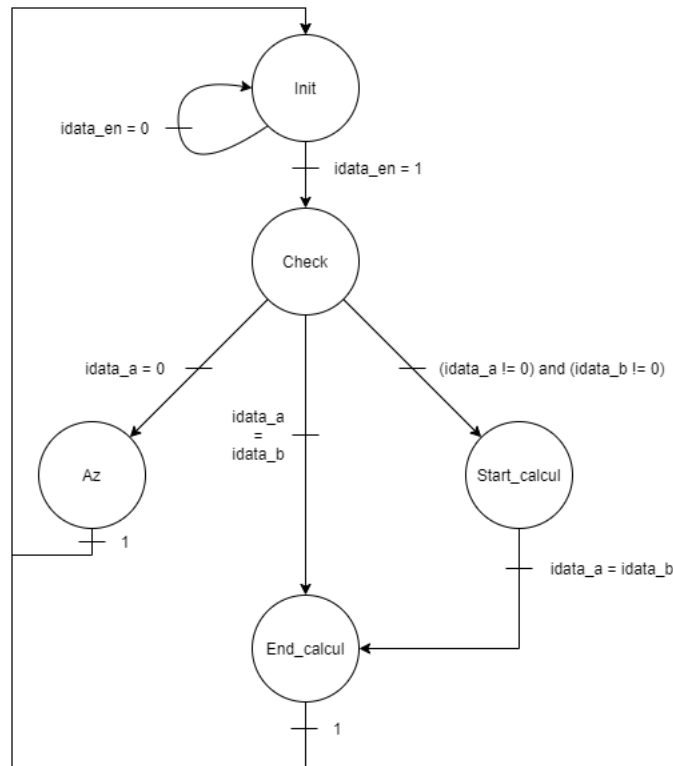


FIGURE 3 – Machine état module PGCD

La description de cette machine nécessite 4 process :

- Mise à jour synchrone de l'état
- Calcul du nouvel état en fonction des entrées
- Calcul des sorties en fonction de l'état en cours
- Calcul du PGCD

Après avoir décrit le module il faut créer un testbench afin de tester le fonctionnement du module. Il existe des outils permettant de décrire automatiquement le squelette d'un testbench pour un module VHDL. Une fois ce squelette décrit, il ne reste plus qu'à créer les stimuli pour le module à tester.

## 3.2 Etape 2

De la même manière que pour la partie software, il est possible d'utiliser des assertions afin de vérifier le fonctionnement du module.

```
1 assert to_integer(unsigned(idata_a)) < 65535 report "Entree A trop grande" severity
   error;
2 assert to_integer(unsigned(idata_b)) < 65535 report "Entree B trop grande" severity
   error;
```

Si ces assertions ne sont pas valide, un message d'erreur sera indiqué dans la console, de la même manière que pour la partie software. Dans ce code VHDL on rajoutera la notion de severité permettant de hiérarchiser les messages générés par les assertions.

## 3.3 Etape 3

Afin d'automatiser l'écriture des valeurs de test, il est possible de modifier nos précédents fichiers C pour générer des valeurs de test calculées avec notre fichier PGCD.c.

```
1 int main (int argc, char * argv []) {
2     int A, B, i;
3
4     if (argc < 2){
5         printf("Entrez un nombre de test\n");
6         return -1;
7     }
8
9     int nombre = atoi(argv[1]);
10
11     srand(time(NULL));
12     for (i = 0 ; i < nombre ; i++){
13         A = RandA();
14         B = RandB();
15         printf("— test %d\n", i);
16         printf("wait for 5 * TbPeriod;\n");
17         printf("idata_a <= std_logic_vector(to_unsigned(%d, 32));\n", A);
18         printf("idata_b <= std_logic_vector(to_unsigned(%d, 32));\n", B);
19         printf("idata_en <= '1';\nwait for 10 ns;\nwhile odata_en = '0' loop\n\tidata_en
   <= '0';\n\twait for 10 ns;\nend loop;\n");
20         printf("ASSERT UNSIGNED(odata) = TO_UNSIGNED( %d, 32) SEVERITY ERROR;\n", PGCD(A,
   B));
21         printf("\n");
22     }
23     return 0;
24 }
```

Ce code permet donc de générer du code à copier dans le fichier testbench.

```
1 — test 0
2 wait for 5 * TbPeriod;
3 idata_a <= std_logic_vector(to_unsigned(52079, 32));
4 idata_b <= std_logic_vector(to_unsigned(45917, 32));
5 idata_en <= '1';
6 wait for 10 ns;
7 while odata_en = '0' loop
8     idata_en <= '0';
9     wait for 10 ns;
10 end loop;
11 ASSERT UNSIGNED(odata) = TO_UNSIGNED( 1, 32) SEVERITY ERROR;
```



Avec cette méthode, on peut générer autant de test que l'on souhaite et donc gagner énormément de temps. Cependant, pour utiliser cette méthode il faut être sûr du bon fonctionnement de la fonction réalisant les PGCD des couples de tests.

## 4 Conclusion

Ce TP m'a permis de découvrir différentes méthodes de tests, ainsi que différents outils permettant de vérifier le fonctionnement d'un module logiciel et matériel. Les méthodes vues lors de ce cours seront à appliquer mes futurs proches de développement qu'ils soient réaliser à l'école ou dans le cadre de mon alternance.

Tout le code que j'ai réalisé lors de ce TP est disponible dans mon repository github.  
[https ://github.com/Starmaxou/EN224-Test-et-verification](https://github.com/Starmaxou/EN224-Test-et-verification)