

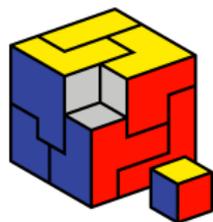
Brainfuck, un langage minimaliste mais Turing-complet

Théophile Wallez

03/10/2019

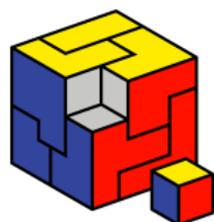
C'est qui le mec qui parle ??

Pourquoi se mettre à coder en Brainfuck ?



Prologin

Pourquoi se mettre à coder en Brainfuck ?



Prologuin

Qualifications de 2014 :

<https://prologuin.org/train/2014/qualification>

Solution en Brainfuck :

<https://gist.github.com/TWal/8262259>

Présentation du langage

Les 8 instructions

+ - < > [] , .

Les 8 instructions

+ - < > [] , .

Tout autre caractère est un commentaire.

La mémoire

Un tableau d'octets

23	8	12	9	129	74	33	61	42	7	...
----	---	----	---	-----	----	----	----	----	---	-----

La mémoire

Un tableau d'octets

Une position

23	8	12	9	129	74	33	61	42	7	...
----	---	----	---	-----	-----------	----	----	----	---	-----

Conversion des instructions vers du C

Initialisation | `char mem[30000] = {0};`
`int pos = 0;`

Conversion des instructions vers du C

Initialisation		<code>char mem[30000] = {0};</code>
		<code>int pos = 0;</code>
+		<code>mem[pos] += 1</code>
-		<code>mem[pos] -= 1</code>

Conversion des instructions vers du C

Initialisation		<code>char mem[30000] = {0};</code> <code>int pos = 0;</code>
+		<code>mem[pos] += 1</code>
-		<code>mem[pos] -= 1</code>
<		<code>pos -= 1</code>
>		<code>pos += 1</code>

Conversion des instructions vers du C

Initialisation		<code>char mem[30000] = {0};</code> <code>int pos = 0;</code>
+		<code>mem[pos] += 1</code>
-		<code>mem[pos] -= 1</code>
<		<code>pos -= 1</code>
>		<code>pos += 1</code>
[<code>while(mem[pos] != 0) {</code>
]		<code>}</code>

Conversion des instructions vers du C

Initialisation	<code>char mem[30000] = {0};</code> <code>int pos = 0;</code>
+	<code>mem[pos] += 1</code>
-	<code>mem[pos] -= 1</code>
<	<code>pos -= 1</code>
>	<code>pos += 1</code>
[<code>while(mem[pos] != 0) {</code>
]	<code>}</code>
.	<code>putchar(mem[pos]);</code>
,	<code>mem[pos] = getchar();</code>

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

0	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : a

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

1	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : a

Sortie :

Exemple

Programme :

```
++ +++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

2	0	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : a

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

3	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : a

Sortie :

Exemple

Programme :

```
++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

4	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : a

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ + --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

5	0	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : a

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

4	0	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : a

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ - -  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

3	0	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : a

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

3	0	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : a

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

3	97	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

3	97	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

3	97	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

3	97	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

3	98	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

3	98	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

2	98	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

2	98	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

2	98	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

2	98	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

2	99	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

2	99	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

1	99	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

1	99	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

1	99	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

1	99	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

1	100	0	0	0	0	0	0	0	...
---	-----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

1	100	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	-----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

0	100	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	-----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

0	100	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	-----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

0	100	0	0	0	0	0	0	0	...
---	------------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie :

Exemple

Programme :

```
+++++ --  
> , <  
[>+<-]  
> .
```

Mémoire :

0	100	0	0	0	0	0	0	0	...
---	------------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **a**

Sortie : d

Un "Hello World!"

Hello World!

Programme :

```
+++++ +++++ +++++ +++++ 20
+++++ +++++ +++++ +++++ 40
+++++ +++++ +++++ +++++ 60
+++++                               65
.
+ .
+ .
```

Mémoire :

0	0	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ ++++++ ++++++ ++++++ 20  
++++++ ++++++ ++++++ ++++++ 40  
++++++ ++++++ ++++++ ++++++ 60  
++++++                               65  
.  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

1	0	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++  ++++++  ++++++  ++++++  20
++++++  ++++++  ++++++  ++++++  40
++++++  ++++++  ++++++  ++++++  60
++++++                                     65
.
+ .
+ .
```

Mémoire :

2	0	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ ++++++ ++++++ ++++++ 20  
++++++ ++++++ ++++++ ++++++ 40  
++++++ ++++++ ++++++ ++++++ 60  
++++++ 65  
.  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

3	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++++ +++++ +++++ +++++ 20
+++++ +++++ +++++ +++++ 40
+++++ +++++ +++++ +++++ 60
+++++
.
+ .
+ .
```

Mémoire :

4	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ ++++++ ++++++ ++++++ 20
++++++ ++++++ ++++++ ++++++ 40
++++++ ++++++ ++++++ ++++++ 60
++++++                                     65
.
+ .
+ .
```

Mémoire :

5	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
+++++ +++++ +++++ ++++++ 20
+++++ +++++ +++++ ++++++ 40
+++++ +++++ +++++ ++++++ 60
+++++                               65
.
+ .
+ .
```

Mémoire :

20	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
+++++ +++++ +++++ +++++ 20
+++++ +++++ +++++ ++++++ 40
+++++ +++++ +++++ +++++ 60
+++++                               65
.
+ .
+ .
```

Mémoire :

40	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
+++++ +++++ +++++ +++++ 20
+++++ +++++ +++++ +++++ 40
+++++ +++++ +++++ ++++++ 60
+++++                               65
.
+ .
+ .
```

Mémoire :

60	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
+++++ +++++ +++++ +++++ 20
+++++ +++++ +++++ +++++ 40
+++++ +++++ +++++ +++++ 60
+++++ 65
.
+ .
+ .
```

Mémoire :

65	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
+++++ +++++ +++++ +++++ 20
+++++ +++++ +++++ +++++ 40
+++++ +++++ +++++ +++++ 60
+++++                               65
.
+ .
+ .
```

Mémoire :

65	0	0	0	0	0	0	0	0	...
-----------	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie : A

Hello World!

Programme :

```
+++++ +++++ +++++ +++++ 20  
+++++ +++++ +++++ +++++ 40  
+++++ +++++ +++++ +++++ 60  
+++++ 65  
.  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

66	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie : A

Hello World!

Programme :

```
+++++ +++++ +++++ +++++ 20
+++++ +++++ +++++ +++++ 40
+++++ +++++ +++++ +++++ 60
+++++                               65
.
+ .
+ .
```

Mémoire :

66	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie : AB

Hello World!

Programme :

```
+++++ +++++ +++++ +++++ 20
+++++ +++++ +++++ +++++ 40
+++++ +++++ +++++ +++++ 60
+++++                               65
.
+ .
+ .
```

Mémoire :

67	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie : AB

Hello World!

Programme :

```
+++++ +++++ +++++ +++++ 20
+++++ +++++ +++++ +++++ 40
+++++ +++++ +++++ +++++ 60
+++++                               65
.
+ .
+ .
```

Mémoire :

67	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie : ABC

Hello World!

Programme :

```
+++++ +++  
[> +++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

0	0	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
+++++ ++  
[> +++++ ++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

8	0	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

8	0	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[ > ++++++ +++ < - ]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

8	0	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

8	1	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> +++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

8	2	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

8	3	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

8	4	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
+++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

8	5	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

8	6	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ ++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

8	7	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

8	8	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

8	8	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < - ]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

7	8	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

7	8	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

7	8	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

6	16	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

6	16	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < - ]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

5	24	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

5	24	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

4	32	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

4	32	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

3	40	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

3	40	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

2	48	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

2	48	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

1	56	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

1	56	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

0	64	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

0	64	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

0	65	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie :

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

0	65	0	0	0	0	0	0	0	...
---	-----------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie : A

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

0	66	0	0	0	0	0	0	0	...
---	-----------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie : A

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

0	66	0	0	0	0	0	0	0	...
---	-----------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie : AB

Hello World!

Programme :

```
+++++ +++  
[> +++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

0	67	0	0	0	0	0	0	0	...
---	-----------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie : AB

Hello World!

Programme :

```
++++++ +++  
[> ++++++ +++ < -]  
>+ .  
+ .  
+ .
```

Mémoire :

0	67	0	0	0	0	0	0	0	...
---	-----------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Sortie : ABC

Quelques patterns utiles

Premier pattern fondamental

```
[> +++++ + + < -]
```

Premier pattern fondamental

```
[> +++++ + + < -]
```

```
while(mem[pos] != 0) {  
    mem[pos+1] += 8;  
    mem[pos] -= 1;  
}
```

Premier pattern fondamental

```
[> +++++ + + < -]
```

```
while(mem[pos] != 0) {  
    mem[pos+1] += 8;  
    mem[pos] -= 1;  
}
```

```
mem[pos+1] += 8*mem[pos];  
mem[pos] = 0;
```

Premier pattern fondamental

[< ++ >> --- > ++++ << -]

Premier pattern fondamental

```
[< ++ >> --- > ++++ << -]
```

```
while(mem[pos] != 0) {  
    mem[pos-1] += 2;  
    mem[pos+1] -= 3;  
    mem[pos+2] += 4;  
    mem[pos] -= 1;  
}
```

Premier pattern fondamental

```
[< ++ >> --- > ++++ << -]
```

```
while(mem[pos] != 0) {  
    mem[pos-1] += 2;  
    mem[pos+1] -= 3;  
    mem[pos+2] += 4;  
    mem[pos] -= 1;  
}
```

```
mem[pos-1] += 2*mem[pos];  
mem[pos+1] -= 3*mem[pos];  
mem[pos+2] += 4*mem[pos];  
mem[pos] = 0;
```

Mise à 0

[-]

Mise à 0

```
[-]
```

```
mem[pos] = 0;
```

Addition de deux cases

[>+<-]

Addition de deux cases

```
[>+<-]
```

```
mem[pos+1] += mem[pos];  
mem[pos] = 0;
```

Bouger une case à une autre

Si `mem[pos+1] == 0` :

```
[>+<-]
```

Bouger une case à une autre

Si `mem[pos+1] == 0` :

```
[>+<-]
```

```
mem[pos+1] = mem[pos];  
mem[pos] = 0;
```

Copie

Si $\text{mem}[\text{pos}+1] == 0$ et $\text{mem}[\text{pos}+2] == 0$:

```
[>+>+<<-] >> [<< + >> -]
```

Copie

Si $\text{mem}[\text{pos}+1] == 0$ et $\text{mem}[\text{pos}+2] == 0$:

```
[>>>+<<<-] >> [<<< + >>> -]
```

```
mem[pos+1] = mem[pos];  
mem[pos+2] = mem[pos];  
mem[pos] = 0;
```

```
mem[pos] = mem[pos+2];  
mem[pos+2] = 0;
```

Copie

Si $\text{mem}[\text{pos}+1] == 0$ et $\text{mem}[\text{pos}+2] == 0$:

```
[>>>+<<<-] >> [<<< + >>> -]
```

```
mem[pos+1] = mem[pos];  
mem[pos+2] = mem[pos];  
mem[pos] = 0;
```

```
mem[pos] = mem[pos+2];  
mem[pos+2] = 0;
```

```
mem[pos+1] = mem[pos];
```

Récapitulatif

En brainfuck, on sait :

Récapitulatif

En brainfuck, on sait :

- ▶ Ajouter / soustraire une constante à une case

Récapitulatif

En brainfuck, on sait :

- ▶ Ajouter / soustraire une constante à une case
- ▶ Faire une boucle `while(mem[pos] != 0)`

Récapitulatif

En brainfuck, on sait :

- ▶ Ajouter / soustraire une constante à une case
- ▶ Faire une boucle `while(mem[pos] != 0)`
- ▶ Mettre à zéro une case

Récapitulatif

En brainfuck, on sait :

- ▶ Ajouter / soustraire une constante à une case
- ▶ Faire une boucle `while(mem[pos] != 0)`
- ▶ Mettre à zéro une case
- ▶ Calculer la somme de deux cases

Récapitulatif

En brainfuck, on sait :

- ▶ Ajouter / soustraire une constante à une case
- ▶ Faire une boucle `while(mem[pos] != 0)`
- ▶ Mettre à zéro une case
- ▶ Calculer la somme de deux cases
- ▶ Bouger le contenu d'une case

Récapitulatif

En brainfuck, on sait :

- ▶ Ajouter / soustraire une constante à une case
- ▶ Faire une boucle `while(mem[pos] != 0)`
- ▶ Mettre à zéro une case
- ▶ Calculer la somme de deux cases
- ▶ Bouger le contenu d'une case
- ▶ Copier le contenu d'une case

Condition : if

Condition : if

Astuce : un if, c'est un while qui s'exécute qu'une seule fois

Condition : if

Astuce : un if, c'est un while qui s'exécute qu'une seule fois

```
[  
    ...  
    [-]  
]
```

```
while(mem[pos] != 0) {  
    ...  
    mem[pos] = 0;  
}
```

Condition : if

Si on veut garder le contenu de `mem[pos]`, on peut faire une copie

Condition : if

Si on veut garder le contenu de `mem[pos]`, on peut faire une copie

```
[>+>+<<-]>>  
[<<+>>-]<<  
[  
    ...  
    [-]  
]  
>[<+>-]<
```

```
mem[pos+1] = mem[pos];  
  
while(mem[pos] != 0) {  
    ...  
    mem[pos] = 0;  
}  
mem[pos] = mem[pos+1];  
mem[pos+1] = 0;
```

Condition : if

Si on veut garder le contenu de `mem[pos]`, on peut faire une copie

```
[>+>+<<- ]>>  
[<<+>>- ]<<  
[  
    ...  
    [-]  
]  
>[<+>- ]<
```

```
mem[pos+1] = mem[pos];  
  
while(mem[pos] != 0) {  
    ...  
    mem[pos] = 0;  
}  
mem[pos] = mem[pos+1];  
mem[pos+1] = 0;
```

Deux cases temporaires

Condition : if

On peut faire mieux !

Condition : if

On peut faire mieux !

```
[  
    ...  
    [>+<-]  
  
]  
>[<+>-]<
```

```
while(mem[pos] != 0) {  
    ...  
    mem[pos+1] = mem[pos];  
    mem[pos] = 0;  
}  
mem[pos] = mem[pos+1];  
mem[pos+1] = 0;
```

Condition : if

On peut faire mieux !

```
[  
    ...  
    [>+<-]  
  
]  
>[<+>-]<
```

```
while(mem[pos] != 0) {  
    ...  
    mem[pos+1] = mem[pos];  
    mem[pos] = 0;  
}  
mem[pos] = mem[pos+1];  
mem[pos+1] = 0;
```

Une case temporaire

Condition : if-else

```
>> + <<
[
    ...
    >>-<<
    [>+<-]
]
>[<+>-]<
>> [
    ...
    [-]
]
```

```
mem[pos+2] = 1;
if(mem[pos] != 0) {
    ...
    mem[pos+2] = 0;
}

if(mem[pos+2]) {
    ...
    mem[pos+2] = 0;
}
```

Condition : if-else

```
>> + <<  
[  
    ...  
    >>-<<  
    [>+<-]  
]  
>[<+>-]<  
>> [  
    ...  
    [-]  
]
```

```
mem[pos+2] = 1;  
if(mem[pos] != 0) {  
    ...  
    mem[pos+2] = 0;  
}  
  
if(mem[pos+2]) {  
    ...  
    mem[pos+2] = 0;  
}
```

Une case temporaire supplémentaire

Récapitulatif

En brainfuck, on sait :

- ▶ Ajouter / soustraire une constante à une case
- ▶ Faire une boucle `while(mem[pos] != 0)`
- ▶ Mettre à zéro une case
- ▶ Calculer la somme de deux cases
- ▶ Bouger le contenu d'une case
- ▶ Copier le contenu d'une case

Récapitulatif

En brainfuck, on sait :

- ▶ Ajouter / soustraire une constante à une case
- ▶ Faire une boucle `while(mem[pos] != 0)`
- ▶ Mettre à zéro une case
- ▶ Calculer la somme de deux cases
- ▶ Bouger le contenu d'une case
- ▶ Copier le contenu d'une case
- ▶ `if(mem[pos] != 0) ... else ...`

Test d'égalité

```
a -= b;  
if(a != 0) {  
    // a != b  
} else {  
    // a == b  
}
```

Comparison

```
while(a != 0 && b != 0) {  
    a -= 1;  
    b -= 1;  
}  
if(a != 0) {  
    // a > b  
} else {  
    // a <= b  
}
```

Tableaux

Tableaux

?	?	0	v_1	v_2	v_3	0	?	?	...
---	---	---	-------	-------	-------	---	---	---	-----

Tableaux

?	?	0	v_1	v_2	v_3	0	?	?	...
---	---	---	-------	-------	-------	---	---	---	-----

Lecture du tableau :

$>$, [$>$,] $<$ [$<$]

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	0	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
> , [ > , ]  
< [ < ]
```

Mémoire :

0	65	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **A**BCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	0	0	0	0	0	0	0	...
---	-----------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **A**BCD

Tableaux

Programme :

```
>, [ >, ]  
<[ <]
```

Mémoire :

0	65	0	0	0	0	0	0	0	...
---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **A**BCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	0	0	0	0	0	0	...
---	----	-----------	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : A**B**CD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	0	0	0	0	0	0	...
---	----	-----------	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : A**B**CD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	0	0	0	0	0	0	...
---	----	-----------	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : A**B**CD

Tableaux

Programme :

```
>, [ >, ]  
<[ <]
```

Mémoire :

0	65	66	0	0	0	0	0	0	...
---	----	----	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : A**B**CD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	0	0	0	0	0	...
---	----	----	----	---	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	0	0	0	0	0	...
---	----	----	----	---	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	0	0	0	0	0	...
---	----	----	-----------	---	---	---	---	---	-----

Entrée : ABC**D**

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	0	0	0	0	0	...
---	----	----	----	---	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	-----------	---	---	---	---	-----

Entrée : ABC**D**

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
< [<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
< [<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
< [<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
< [<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	-----------	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABC**D**

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	-----------	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABC**D**

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
< [<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	-----------	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABC**D**

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Programme :

```
>, [>, ]  
<[<]
```

Mémoire :

0	65	66	67	68	0	0	0	0	...
---	----	----	----	----	---	---	---	---	-----

Entrée : ABCD

Tableaux

Exercice : calculer la taille du tableau

Tableaux

Exercice : calculer la taille du tableau

```
while(mem[pos] != 0) {  
    //TODO: ajouter 1 au compteur;  
    pos += 1;  
}
```

Tableaux

Exercice : calculer la taille du tableau

```
while(mem[pos] != 0) {  
    //TODO: ajouter 1 au compteur;  
    pos += 1;  
}
```

Comment on retient la position ????

Tableaux avec marqueurs

Astuce : rajouter des marqueurs

Tableaux avec marqueurs

Astuce : rajouter des marqueurs

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	1	?	0	...
---	---	-------	---	-------	---	-------	---	---	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	1	v_4	1	...
---	---	-------	---	-------	---	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	1	v_4	1	...
---	---	-------	---	-------	---	-------	----------	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	---	-------	---	-------	---	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [ << ]  
...  
>> [ >> ]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	---	-------	---	-------	----------	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	---	-------	---	-------	----------	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	---	-------	----------	-------	---	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	---	-------	----------	-------	---	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	---	-------	----------	-------	---	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	---	-------	---	-------	---	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	----------	-------	---	-------	---	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	----------	-------	---	-------	---	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	---	-------	----------	-------	---	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	---	-------	----------	-------	---	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	---	-------	---	-------	----------	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	---	-------	---	-------	----------	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	---	-------	---	-------	----------	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	---	-------	---	-------	---	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	0	v_4	1	...
---	---	-------	---	-------	---	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	1	v_4	1	...
---	---	-------	---	-------	---	-------	----------	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
> -  
<< [<<]  
...  
>> [>>]  
+ <
```

Mémoire :

?	0	v_1	1	v_2	1	v_3	1	v_4	1	...
---	---	-------	---	-------	---	-------	---	-------	---	-----

Tableaux avec marqueurs

Lecture du tableau :

```
>>, [>+>, ] <[<<]
```

Calculer la longueur :

```
>> [  
  -      marque la position actuelle  
  << [<<] va au début du tableau  
  < + >  incrémente le compteur  
  >> [>>] retourne à la position actuelle  
  + >>   case suivante  
]  
<< [<<] <
```

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -      marque la position actuelle
  << [<<] va au début du tableau
  < + >  incrémente le compteur
  >> [>>] retourne à la position actuelle
  + >>  case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -      marque la position actuelle
  << [<<] va au début du tableau
  < + >  incrémente le compteur
  >> [>>] retourne à la position actuelle
  + >>  case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>> , [>+> , ] < [<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	65	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	----	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **A**BC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -      marque la position actuelle
  << [<<] va au début du tableau
  < + >  incrémente le compteur
  >> [>>] retourne à la position actuelle
  + >>  case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	65	0	0	0	0	0	0	0	...
---	---	-----------	---	---	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **A**BC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ] < [<<]
>> [
-      marque la position actuelle
<< [<<] va au début du tableau
< + >  incrémente le compteur
>> [>>] retourne à la position actuelle
+ >>  case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	65	1	66	0	0	0	0	0	...
---	---	----	---	----	---	---	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	65	1	66	0	0	0	0	0	...
---	---	----	---	-----------	---	---	---	---	---	-----

Entrée : **A**BC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ] < [<<]
>> [
-      marque la position actuelle
<< [<<] va au début du tableau
< + >  incrémente le compteur
>> [>>] retourne à la position actuelle
+ >>  case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	65	1	66	1	67	0	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	65	1	66	1	67	0	0	0	...
---	---	----	---	----	---	-----------	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ] < [<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ] < [<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	----------	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	----------	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -      marque la position actuelle
  << [<<] va au début du tableau
  < + >  incrémente le compteur
  >> [>>] retourne à la position actuelle
  + >>  case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	----------	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
-      marque la position actuelle
<< [<<] va au début du tableau
< + >  incrémente le compteur
>> [>>] retourne à la position actuelle
+ >>   case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	65	0	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	65	0	66	1	67	1	0	0	...
---	----------	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

0	0	65	0	66	1	67	1	0	0	...
----------	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

1	0	65	0	66	1	67	1	0	0	...
----------	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : **ABC**

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

1	0	65	0	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

1	0	65	0	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -      marque la position actuelle
  << [<<] va au début du tableau
  < + >  incrémente le compteur
  >> [>>] retourne à la position actuelle
  + >>  case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

1	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	----------	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

1	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

1	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>> , [ >+> , ] < [ << ]  
>> [  
    -           marque la position actuelle  
    << [ << ]   va au début du tableau  
    < + >      incrémente le compteur  
    >> [ >> ]  retourne à la position actuelle  
    + >>      case suivante  
    ]  
    << [ << ] <
```

Mémoire :

1	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

1	0	65	1	66	0	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

1	0	65	1	66	0	67	1	0	0	...
---	----------	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -      marque la position actuelle
  << [<<] va au début du tableau
  < + >  incrémente le compteur
  >> [>>] retourne à la position actuelle
  + >>   case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

1	0	65	1	66	0	67	1	0	0	...
----------	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]     va au début du tableau
  < + >       incrémente le compteur
  >> [>>]     retourne à la position actuelle
  + >>       case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

2	0	65	1	66	0	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

2	0	65	1	66	0	67	1	0	0	...
---	----------	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : **ABC**

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

2	0	65	1	66	0	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -      marque la position actuelle
  << [<<] va au début du tableau
  < + >  incrémente le compteur
  >> [>>] retourne à la position actuelle
  + >>  case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

2	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

2	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	----------	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -      marque la position actuelle
  << [<<] va au début du tableau
  < + >  incrémente le compteur
  >> [>>] retourne à la position actuelle
  + >>  case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

2	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	----------	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>> , [ >+> , ] < [ << ]  
>> [  
  -           marque la position actuelle  
  << [ << ]   va au début du tableau  
  < + >       incrémente le compteur  
  >> [ >> ]   retourne à la position actuelle  
  + >>       case suivante  
  ]  
<< [ << ] <
```

Mémoire :

2	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	----------	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

2	0	65	1	66	1	67	0	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

2	0	65	1	66	1	67	0	0	0	...
---	----------	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

2	0	65	1	66	1	67	0	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

3	0	65	1	66	1	67	0	0	0	...
----------	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

3	0	65	1	66	1	67	0	0	0	...
---	----------	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

3	0	65	1	66	1	67	0	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

3	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	----------	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

3	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	----------	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -      marque la position actuelle
  << [<<] va au début du tableau
  < + >  incrémente le compteur
  >> [>>] retourne à la position actuelle
  + >>  case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

3	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -           marque la position actuelle
  << [<<]    va au début du tableau
  < + >      incrémente le compteur
  >> [>>]    retourne à la position actuelle
  + >>      case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

3	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	----------	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Tableaux avec marqueurs

Programme :

```
>>, [>+>, ]<[<<]
>> [
  -      marque la position actuelle
  << [<<] va au début du tableau
  < + >  incrémente le compteur
  >> [>>] retourne à la position actuelle
  + >>  case suivante
]
<< [<<] <
```

Mémoire :

3	0	65	1	66	1	67	1	0	0	...
---	---	----	---	----	---	----	---	---	---	-----

Entrée : ABC

Récapitulatif

En brainfuck, on sait :

- ▶ Ajouter / soustraire une constante à une case
- ▶ Faire une boucle `while(mem[pos] != 0)`
- ▶ Mettre à zéro une case
- ▶ Calculer la somme de deux cases
- ▶ Bouger le contenu d'une case
- ▶ Copier le contenu d'une case
- ▶ `if(mem[pos] != 0) ... else ...`

Récapitulatif

En brainfuck, on sait :

- ▶ Ajouter / soustraire une constante à une case
- ▶ Faire une boucle `while(mem[pos] != 0)`
- ▶ Mettre à zéro une case
- ▶ Calculer la somme de deux cases
- ▶ Bouger le contenu d'une case
- ▶ Copier le contenu d'une case
- ▶ `if(mem[pos] != 0) ... else ...`
- ▶ Manipuler des tableaux

Conclusion

Conclusion

- ▶ Le Brainfuck c'est simple mais intimidant

Conclusion

- ▶ Le Brainfuck c'est simple mais intimidant
- ▶ En procédant avec méthode, on s'en sort !

Conclusion

- ▶ Le Brainfuck c'est simple mais intimidant
- ▶ En procédant avec méthode, on s'en sort !
- ▶ Questions → n'hésitez pas venir me parler si vous me croisez

Minimalisation du langage

Brainfuck : un langage minimal ?

8 instruction c'est minimal ?

Brainfuck : un langage minimal ?

8 instruction c'est minimal ?

Non ! On peut faire moins

Brainfuck : un langage minimal ?

8 instruction c'est minimal ?

Non ! On peut faire moins

On peut faire des langages équivalents avec moins d'instructions

Minimalisation

▶ 7 instructions

+ et - deviennent @ : flip de bit

Minimalisation

- ▶ 7 instructions

+ et - deviennent @ : flip de bit

- ▶ 6 instructions

fusion de @ et > : } fait @>

Minimalisation

- ▶ 7 instructions

+ et - deviennent @ : flip de bit

- ▶ 6 instructions

fusion de @ et > : } fait @>

Pour aller plus loin : https://esolangs.org/wiki/BF_instruction_minimalization

(attention : cette page propose des langage qui ne sont pas équivalent au Brainfuck...)

Merci !