LIFAP5 – Programmation fonctionnelle pour le WEB

CM4 – programmation fonctionnelle et asynchrone en JavaScript

Licence informatique UCBL – Printemps 2021–2022

http://emmanuel.coquery.pages.univ-lyon1.fr/enseignement/lifap5/

Plan

Interlude sur les objets JavaScript

Constructeur

On définit les propriétés et méthodes d'un objet en définissant une fonction qui sera utilisée par la suite pour construire l'objet souhaité. Source

⚠ convention : les constructeurs commencent par une Majuscule ⚠

Exemple

```
function Car(make, model, year) {
  this.make  = make;
  this.model = model;
  this.year  = year;
}

let mycar = new Car('Eagle', 'Talon TSi', 1993);
console.log(mycar.model)          //'Talon TSi'
console.log(mycar.constructor)    //function Car()
```

Interlude sur les objets JavaScript

L'opérateur `new` permet de créer une instance d'un certain « type » à partir du constructeur de celui-ci. Source

On crée ainsi un nouveau contexte `this`

```
Car('Eagle', 'Talon TSi', 1993);
console.log(this);          //Window -> https://.../
console.log(this.make);     //Eagle

let o = {}; Car.call(o, 'Ford', 'Fiesta', 1993);
console.log(o);
  //{ make: "Ford", model: "Fiesta", year: 1993 }

let o = new Car('Fiat', '500', 1960);
console.log(o);
  //{ make: "Fiat", model: "500", year: 1960 }
```

Interlude sur les objets JavaScript

Exemple, avec une fonction

```
function displayCar() {
  const result = 'A Beautiful ' + this.year + ' ' +
    this.make + ' ' + this.model;
  console.log(result);
}

function Car(make, model, year) {
  this.make = make;
  this.model = model;
  this.year = year;
  this.displayCar = displayCar;
}

let o = new Car ('Eagle', 'Talon TSi', 1993);
o.displayCar(); //A Beautiful 1993 Eagle Talon TSi
```

Interlude sur les objets JavaScript

Quelques constructeurs standards

- `Object`
- `Function`
- `Date`
- `RegExp`
- `Array`
- `Math`
- `Error`
- ⚠ `Promise` ⚠

https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference

Rappel sur la “fat arrows”, a.k.a. les lambdas

https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference/Functions/Arrow_functions

Une fonction sans `this` à elle

```
(param1, param2, ..., paramN) => { statements }
(param1, param2, ..., paramN) => expression
// Equivalent to: => { return expression; }

(singleParam) => { statements }
singleParam => { statements }
// Parentheses are optional when there's only one
    parameter name

() => { statements }
// Function with no parameters needs ()
```

Principe de la programmation événementielle/asynchrone

Des actions pour plus tard : des fonctions en paramètres

- Passage de *callbacks*
  la fonction passée en paramètre de `fetch` *ou de* `setTimeout`
- Transformation en « promesses » (*promises*)
  pour éviter la « pyramid of doom » ou « callback hell »

- Les fonctions de gestions des événements (les *handlers*) prennent des fonctions en paramètres,
- Les fonctions asynchrones prennent aussi des fonctions en paramètre (les *callbacks*)
- Il faut donc pouvoir créer des fonctions, généralement avec des fermetures

Ce style de programmation – *fonctionnel avec continuations* – motive l'étude du λ-calcul : le proto-langage fonctionnel pur.

Principe de la programmation événementielle/asynchrone

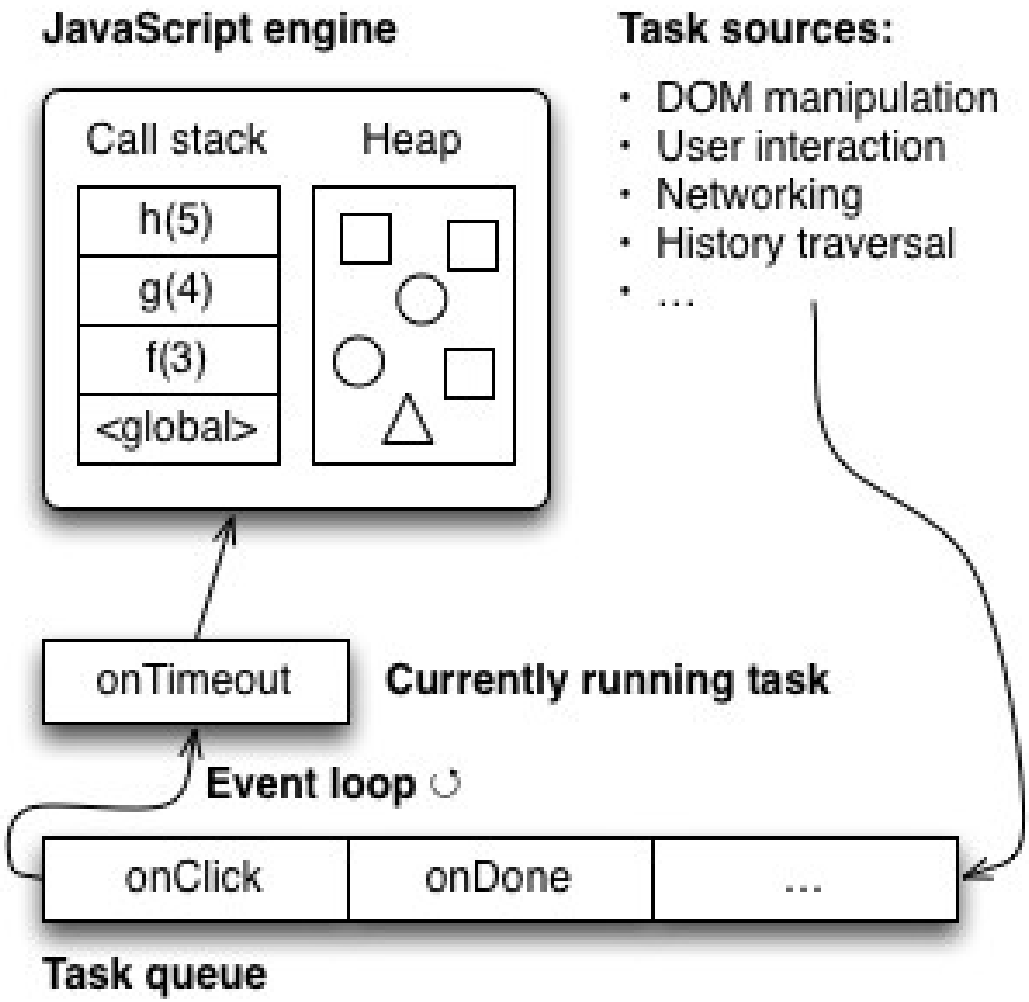
L'omniprésence des fonctions asynchrones en JavaScript

- Les gestionnaires d'événements pour HTMLElement, Document, ou Window et la programmation événementielle plus généralement.
- Les applications AJAX (Asynchronous JavaScript + XML) Fetch API (et son ancêtre XMLHttpRequest) (XHR)
- L'essentiel de la bibliothèque standard Node.js comme File System, HTTP (programmation JavaScript côté serveur) ou Stream

Ces APIs imposent une façon de penser et de structurer le code

Dans ce style de programmation, où on passe en paramètre « la suite des traitements » (*Continuation Passing Style* – CPS), on ne peut plus utiliser l'instruction `return` pour renvoyer un résultat !

La boucle d'événements et la file des tâches du navigateur



Voir What the heck is the event loop anyway? et In The Loop

Exemple sur le TP1

LIFAP5-TP1.html

```
<span id="output1"></span>
<p>
  <input type="text" id="input1" value="2"/>
  <input type="button" id="eval1" value="Bottles"/>
</p>
```

LIFAP5-TP1.js

```
let output1   = document.getElementById("output1");
let input1    = document.getElementById("input1");

document.getElementById("eval1").onclick =
  () => output1.innerHTML = bottles(input1.value);
```

La boucle d'événements et la file des tâches du navigateur

Exemple avec `setTimeout` voir la documentation

```
setTimeout(                                  // (A)
     () => console.log('Second')             // (B)
   , 0);                                     // (A, suite)
console.log('First');                        // (C)
//First
//Second
```

1. (A) ajoute un *handler* à l'évènement `onTimeout`
2. la ligne (C) est immédiatement exécutée.
3. l'évènement `onTimeout` arrive après 0 milliseconde
   - La fonction de la ligne (B) est ajoutée à la file des tâches
4. Au prochain tour de la boucle d'événements, (B) est exécutée.

La boucle d'événements et la file des tâches du navigateur

Exemple avec `setTimeout` voir la documentation

```
setTimeout(                                  // (A)
     () => console.log('Second')             // (B)
   , 0);                                     // (A, suite)
console.log('First');                        // (C)
//First
//Second
```

1. (A) ajoute un *handler* à l'évènement `onTimeout`
2. la ligne (C) est immédiatement exécutée.
3. l'évènement `onTimeout` arrive après 0 milliseconde
   - La fonction de la ligne (B) est ajoutée à la file des tâches
4. Au prochain tour de la boucle d'événements, (B) est exécutée.

Exemples avec setTimeout

```
console.log('Start');                          // (A)
setTimeout(                                    // (T1)
  () => console.log('Call back #1')            // (CB1)
  , 0);
console.log('Middle');                         // (B)
setTimeout(                                    // (T2)
  () => console.log('Call back #2')            // (CB2)
  , 0);
console.log('End');                            // (C)

//Start
//Middle
//End
//undefined
//Call back #1
//Call back #2
```

Exemples avec setTimeout

```
console.log('Start');                          // (A)
setTimeout(                                    // (T1)
   () => console.log('Call back #1')           // (CB1)
   , 0);
console.log('Middle');                         // (B)
setTimeout(                                    // (T2)
   () => console.log('Call back #2')           // (CB2)
   , 0);
console.log('End');                            // (C)

//Start
//Middle
//End
//undefined
//Call back #1
//Call back #2
```

Exemples avec setTimeout

Attention au code bloquant !

```
const s = new Date().getSeconds();
setTimeout(function() {
  console.log("Ran after " + (new Date().getSeconds()
    - s) + " seconds");
}, 0);
while(true) {
  if(new Date().getSeconds() - s >= 2) {
    console.log("Good, looped for 2 seconds");
    break;
  }
}
```

Affiche `Good, looped for 2 seconds` puis `Ran after 2 seconds` car tant que la boucle `while(true)` s'exécute, on reste dans la même tâche.

Exemples avec setTimeout

Attention au code bloquant !

```
const s = new Date().getSeconds();
setTimeout(function() {
  console.log("Ran after " + (new Date().getSeconds()
    - s) + " seconds");
}, 0);
while(true) {
  if(new Date().getSeconds() - s >= 2) {
    console.log("Good, looped for 2 seconds");
    break;
  }
}
```

Affiche `Good, looped for 2 seconds` puis `Ran after 2 seconds` car tant que la boucle `while(true)` s'exécute, on reste dans la même tâche.

The pyramid of doom

```
function logger_cb(str, cb){
  return function () {
    console.log(str);
    if (typeof cb === "function")
      cb();       // /!\ PAS DE RETURN /!\
  }
}
setTimeout(
  logger_cb('#1s', () => {
    setTimeout(
      logger_cb('#2s', () => {
        setTimeout(
          logger_cb('#3s')
        , 1000)})
    , 1000)})
, 1000);
```

The pyramid of doom : transfert de résultats

```
function makeAsync(func){
  return function (arg, cb){
    function handler(){
      const res = func(arg);
      if (typeof cb === "function")
        cb(res);        // /!\ PAS DE RETURN /!\
    };
    setTimeout(handler, 0);
  }
}
let logger = makeAsync((str) => {
  console.log(str);
  return str.length;
});

const x1 = logger('#1s');
const x2 = logger('#2s:' + x1);
const x3 = logger('#3s:' + x2);
// /!\ ERREUR CLASSIQUE /!\
```

The pyramid of doom : transfert de résultats

```
function makeAsync(func){
  return function (arg, cb){
    function handler(){
      const res = func(arg);
      if (typeof cb === "function")
        cb(res);        // /!\ PAS DE RETURN /!\
    };
    setTimeout(handler, 0);
  }
}
let logger = makeAsync((str) => {
  console.log(str);
  return str.length;
});
logger('#1s',
  (x) =>  logger('#2s:' + x,
    (x) =>  logger('#3s:' + x, undefined)
  )
); // Traitements successifs == imbrications des fonctions
```

Les promesses : définition

Définition

L'interface Promise représente un intermédiaire (proxy) vers *une valeur qui n'est pas nécessairement connue au moment de sa création*. [...] Ainsi, des méthodes asynchrones renvoient des valeurs comme les méthodes synchrones, la seule différence est que la valeur retournée par la méthode asynchrone est une promesse (d'avoir une valeur plus tard). Source

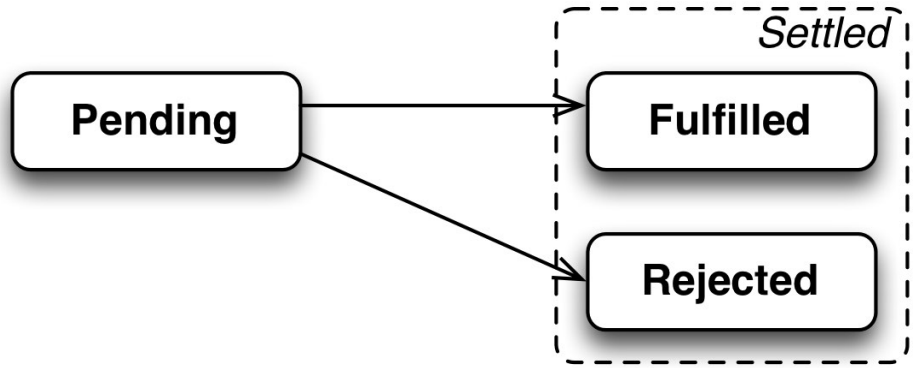
Mais ce n'est pas « magique »

- il faut *toujours* passer des fonctions en paramètre ;
- créer ces fonctions avec des fermetures ;
- *in fine*, c'est surtout la syntaxe change ;
- mais c'est très pratique et (désormais) standard.

Les promesses : définition

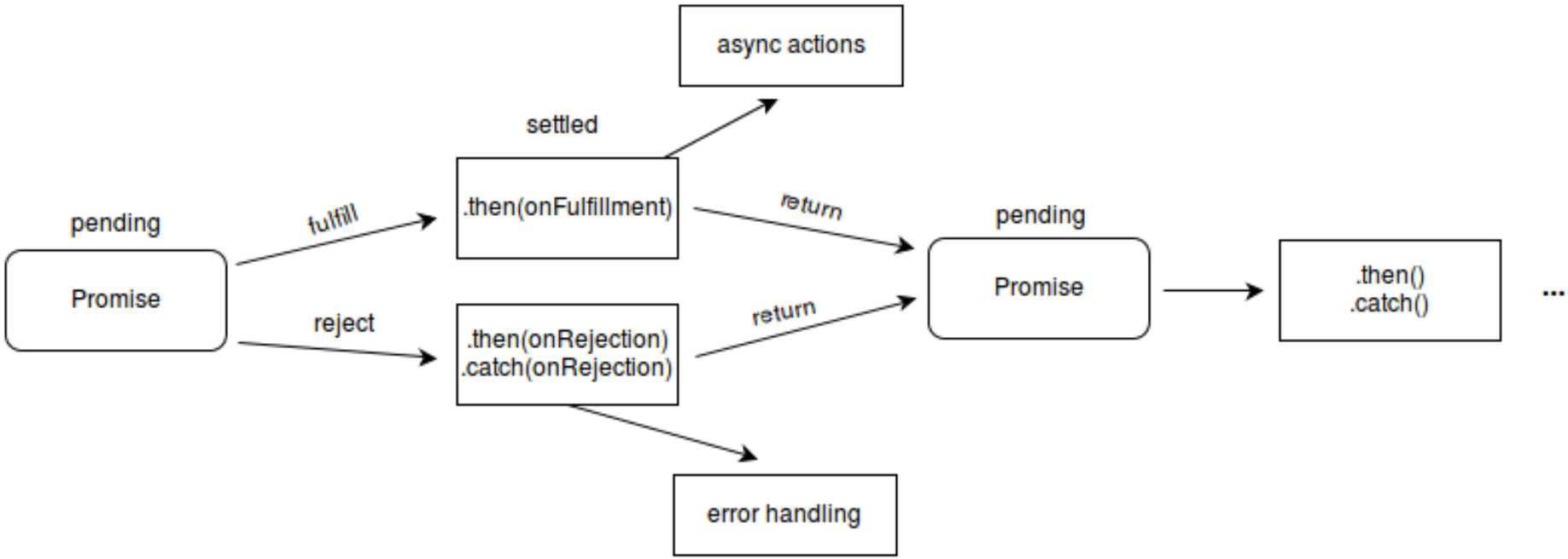
États des promesses

- *pending* (en attente) : état initial, ni remplie, ni rompue ;
- *fulfilled* (tenue) : l'opération a réussi ;
- *rejected* (rompue) : l'opération a échoué ;
- *settled* (acquittée) : la promesse n'est plus en attente.



Les promesses : définition

Les méthodes `then()` et `catch()` renvoient des promesses et peuvent ainsi être chaînées.



C'est ce qui va permettre un enchainement *linéaire* et non *imbrication* des traitements successifs.

Les promesses : définition

Construction de Promise

```
const promise = new Promise(
  function (resolve, reject) {
    if (...) {
        resolve(value); // succès
    } else {
        reject(reason); // échec
    }
    // /!\ pas d'instruction RETURN ! /!\
  });
```

Consommation de Promise

```
promise
  .then(value => { /* fulfillment */ })
  .catch(error => { /* rejection */ });
```

Les promesses : définition

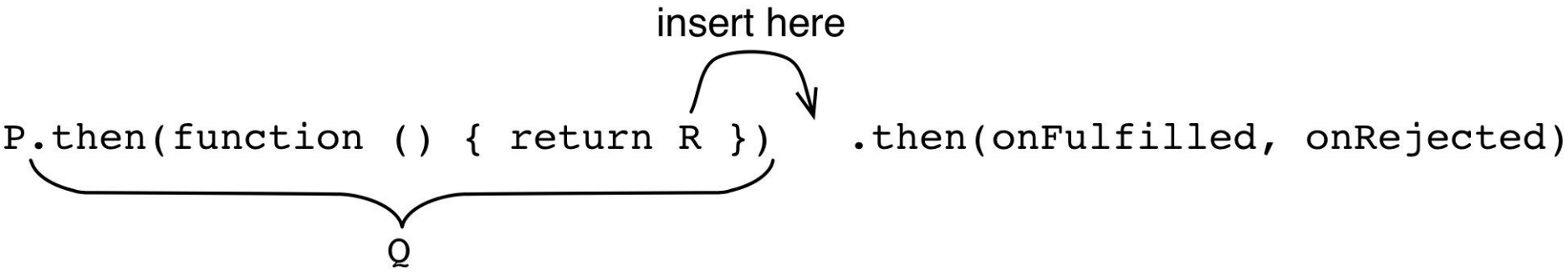
Exemple

```
let p = new Promise((resolve, reject) =>
    setTimeout(() => resolve("Success!"), 3000)
    //NB pas de "return" ici !
);

p.then((str) => console.log("Yay! " + str))
//Affiche "Yay! Success!" après 3 secondes
```

Les promesses permettent de simplifier l'écriture et la gestion des programmes asynchrones.

Enchaînement de promesses



`Promise.prototype.then(fn)`

- Renvoie une promesse
  - soit `fn` retourne une promesse `R` dont le résultat utilisé quand elle sera résolue par la suite,
  - soit `fn` retourne une valeur `R` qui sera transformée en une promesse de la valeur qui sera renvoyée par `fn`,
- ⚠ Au cas où `fn` n'est pas une fonction, alors c'est *la promesse d'origine qui est renvoyée.* ⚠

Enchaînement de promesses

```
PA                                    //(PA)
.then(
   (v1) => async1(v1)                 //(PF1)
)                                     //(PB)
.then(
   (v2) => async2(v2)                 //(PF2)
)                                     //(PC)
```

Exécution : file des (micro)tâches

Loop #1
(PB) créée
(PC) créée

Loop #2
(PA) ⇝ vA
async1(vA)
(PF1) appelée

Loop #3
(PF1) ⇝ vF1
(PB) ⇝ vF1
async2(vF1)
(PF2) appelée

Loop #4
(PF2) ⇝ vF2
(PC) ⇝ vF2

Enchaînement de promesses

```
PA                                    //(PA)
.then(
   (v1) => async1(v1)                 //(PF1)
)                                     //(PB)
.then(
   (v2) => async2(v2)                 //(PF2)
)                                     //(PC)
```

Exécution : file des (micro)tâches

Loop #1
(PB) créée
(PC) créée

Loop #2
(PA) ⇝ vA
async1(vA)
(PF1) appelée

Loop #3
(PF1) ⇝ vF1
(PB) ⇝ vF1
async2(vF1)
(PF2) appelée

Loop #4
(PF2) ⇝ vF2
(PC) ⇝ vF2

Enchaînement de promesses

```
PA                                    //(PA)
.then(
   (v1) => async1(v1)                 //(PF1)
)                                     //(PB)
.then(
   (v2) => async2(v2)                 //(PF2)
)                                     //(PC)
```

Exécution : file des (micro)tâches

Loop #1	*Loop #2*	*Loop #3*	*Loop #4*
(PB) créée	(PA) $\rightsquigarrow$ vA	(PF1) $\rightsquigarrow$ vF1	(PF2) $\rightsquigarrow$ vF2
(PC) créée	async1(vA)	(PB) $\rightsquigarrow$ vF1	(PC) $\rightsquigarrow$ vF2
	(PF1) appelée	async2(vF1)	
		(PF2) appelée	

Enchaînement de promesses

```
PA                                    //(PA)
.then(
   (v1) => async1(v1)                 //(PF1)
)                                     //(PB)
.then(
   (v2) => async2(v2)                 //(PF2)
)                                     //(PC)
```

Exécution : file des (micro)tâches

Loop #1	*Loop #2*	*Loop #3*	*Loop #4*
(PB) créée	(PA) $\rightsquigarrow$ vA	(PF1) $\rightsquigarrow$ vF1	(PF2) $\rightsquigarrow$ vF2
(PC) créée	async1(vA)	(PB) $\rightsquigarrow$ vF1	(PC) $\rightsquigarrow$ vF2
	(PF1) appelée	async2(vF1)	
		(PF2) appelée	

Enchaînement de promesses

```
PA                                    //(PA)
.then(
   (v1) => async1(v1)                 //(PF1)
)                                     //(PB)
.then(
   (v2) => async2(v2)                 //(PF2)
)                                     //(PC)
```

Exécution : file des (micro)tâches

Loop #1

(PB) créée

(PC) créée

Loop #2

(PA) $\rightsquigarrow$ vA

async1(vA)

(PF1) appelée

Loop #3

(PF1) $\rightsquigarrow$ vF1

(PB) $\rightsquigarrow$ vF1

async2(vF1)

(PF2) appelée

Loop #4

(PF2) $\rightsquigarrow$ vF2

(PC) $\rightsquigarrow$ vF2

Enchaînement de promesses

```
let log = console.log;
function make(delay,val) {
  log(`make (${delay},${val})`);
  return new Promise((resolve, reject) => {
    log(`Promise ${val}`);
    setTimeout(() => {
      log(`Fullfilled: ${val}`);
      resolve(val);
      }, delay*1000);
  });
}
let PA = make(1,"PA");
PA
.then((v1) => {log("PF1"); return make(1,"PF1"+v1);})
.then((v2) => {log("PF2"); return make(1,"PF2"+v2);});
```

Enchaînement de promesses, avec exceptions

```
let PA = new Promise(
  (resolve, reject) => setTimeout(() => resolve("Error
      1"), 0));
PA
.then(v => Promise.reject(v))                    //rejet
.then(console.log)                               //pas exécuté
.catch(e => console.error("Catch " + e))         //catch
.then(() => console.log("OK"));                  //executé
```

Les promesses rejetées sont transmises jusqu'au prochain `Promise.prototype.catch` qui les traitera et renverra une promesse à son tour, qui pourra être suivie d'un `Promise.prototype.then`.

Remarques diverses, concurrence

Comment contrôler la réussite (et l'échec) de plusieurs promesses lancées simultanément ?

`Promise.all()`

The `Promise.all()` method returns a single `Promise` that resolves when all of the promises in the iterable argument have resolved, or rejects with the reason of the first promise that rejects. Source

`Promise.race()`

The `Promise.race` method returns a promise that resolves or rejects as soon as one of the promises in the iterable resolves or rejects, with the value or reason from that promise. Source

Remarques diverses, tâches et micro-tâches

Exemple : quel est l'ordre d'affichage ?

```
console.log("Start...");
let P1 = Promise.resolve("Resolved");
let P2 = new Promise((resolve, reject) => {
  setTimeout(() => resolve("Success"), 0);
});
P2.then(console.log);
P1.then(console.log);
console.log("...End");
```

Les promesses produisent des micro-tâches qui sont *exécutées immédiatement* à la suite de la (macro-)tâche en cours, avant de passer à la tâche suivante dans la file des tâches. (stackoverflow)

Remarques diverses, tâches et micro-tâches

Exemple : quel est l'ordre d'affichage ?

```
console.log("Start...");
let P1 = Promise.resolve("Resolved");
let P2 = new Promise((resolve, reject) => {
  setTimeout(() => resolve("Success"), 0);
});
P2.then(console.log);
P1.then(console.log);
console.log("...End");
```

Les promesses produisent des micro-tâches qui sont *exécutées immédiatement* à la suite de la (macro-)tâche en cours, avant de passer à la tâche suivante dans la file des tâches. (stackoverflow)

Remarques diverses, async/await (hors programme)

https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference/Statements/async_function

```
function resolveAfter2Seconds() {
  return new Promise(resolve => {
    setTimeout(() => {
      resolve('resolved');
    }, 2000);
  });
}

// /!\ DU SUCRE SYNTAXIQUE SUR LES PROMESSES /!\
async function asyncCall() {
  console.log('calling');
  const result = await resolveAfter2Seconds();
  console.log(result);
}
```

Introduction à XMLHttpRequest

https://developer.mozilla.org/fr/docs/Web/Guide/AJAX

Asynchronous JavaScript + XML, while not a technology in itself, is a term coined in 2005 by Jesse James Garrett, that describes a "new" approach to using a number of existing technologies together, including HTML or XHTML, Cascading Style Sheets, JavaScript, The Document Object Model, XML, XSLT, and most importantly the XMLHttpRequest object. When these technologies are combined in the Ajax model, web applications are able to make quick, incremental updates to the user interface without reloading the entire browser page. This makes the application faster and more responsive to user actions.
Although X in Ajax stands for XML, JSON is used more than XML nowadays because of its many advantages such as being lighter and a part of JavaScript. Both JSON and XML are used for packaging information in Ajax model.

Exemple XMLHttpRequest avec *callback*

```
"use strict";
function ajaxCB(url, callback) {
    console.log(`ajaxCB [${url}] ...`);
    let request = new XMLHttpRequest();
    request.open("GET", url);
    request.overrideMimeType("text/json");
    request.onload = function() {
      if (request.status === 200) {
        console.log("Done [" + url + "]");
        callback(request.responseText, undefined);
      } else {
        callback(undefined, Error(`Network error on [$
            {url}] : ${request.statusText}` ));
      }
    };
    request.onerror = () => callback(undefined, Error(
        `Network error on [${url}] ...`));
    request.send();
```

Exemple XMLHttpRequest avec Promise

```
"use strict";
function ajaxPromise(url) {
  return new Promise(function(resolve, reject) {
    console.log(`ajaxPromise [${url}] ...`);
    let request = new XMLHttpRequest();
    request.open("GET", url);
    request.overrideMimeType("text/json");
    request.onload = function() {
      if (request.status === 200) {
        console.log(`Done [${url}] ...`);
        resolve(request.response);
      } else
        reject(Error(`Network error on [${url}] : ${
            request.statusText}` ));
    };
    request.onerror = () => reject(Error(`Network
       error on [${url}] ...`));
    request.send();
```

L'api fetch

https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Fetch_API

The Fetch API provides an interface for fetching resources (including across the network). It will seem familiar to anyone who has used XMLHttpRequest, but the new API provides a more powerful and flexible feature set.

Exemple simple

```
let myImage = document.querySelector('img');
fetch('flowers.jpg')
  .then(function(response) {
    return response.blob();})
  .then(function(myBlob) {
    let objectURL = URL.createObjectURL(myBlob);
    myImage.src = objectURL;});
```

Exemple de chargement asynchrone de données `json`

Démonstration

Et le λ-calcul dans tout ça ?

Une « plomberie » bien connue : Continuation Passing Style (CPS)

- On ne renvoie en fait jamais de valeur. . .
- . . . mais on donne la fonction à exécuter ensuite
- En λ-calcul, cela permet de *fixer une stratégie d'évaluation*, d'imposer dans quel ordre on va évaluer une expression $(\lambda x.M)\ N$

On peut décrire « le style CPS » de façon systématique

- Au lieu d'un type A, on veut un type[a] $(A \to R) \to R$: on attend « une suite » qui prendra une donnée de type A et rendra un R
- Toute donnée peut être transformée avec ret : $A \to T\ A$
- On peut enchaîner des étapes :
  - Si j'ai un $T\ A$ et une fonction $A \to T\ B$
  - On peut les enchaîner avec bind : $T\ A \to (A \to T\ B) \to T\ B$

a. Qu'on note $T\ A = (A \to R) \to R$

Et le λ-calcul dans tout ça ?

Quelles définitions en λ-calcul ?

- ret : $A \to (A \to R) \to R$
  ret $a = \lambda k.k\ a$
- bind : $T\ A \to (A \to T\ B) \to T\ B$
  bind : $((A \to R) \to R) \to (A \to ((B \to R) \to R)) \to ((B \to R) \to R)$
  bind $ta\ f = \lambda k.ta\ (\lambda x.(f\ x\ k))$

Pour, qu'en un sens, ça se passe bien, on veut

- bind $(\text{ret}\ a)\ f = f\ a$
  ret est neutre à gauche pour bind
- bind ta ret $= ta$
  ret est neutre à droite pour bind
- bind $(\text{bind}\ ta\ f)\ g = \text{bind}\ ta\ (\lambda x.\text{bind}\ (f\ x)\ g)$
  bind est associative

Et le λ-calcul dans tout ça ? Le lien en JavaScript

La traduction avec `Promise`

On lit $T\ A$ comme « *une promesse qui renvoie une valeur de type* A »

- ret c'est en fait `Promise.resolve`
- bind c'est en fait `Promise.prototype.then`

`Promise` respecte les spécifications

```
const inc = x => Promise.resolve(x + 1)
const dec = x => Promise.resolve(x - 1)
let P1 = Promise.resolve(1)
.then(inc)
.then(dec);
let P2 = Promise.resolve(1)
.then(x => inc(x)
           .then(y => dec(y))
     );
```

Références

- (recommandé) The JavaScript language: Promises, async/await
- ECMAScript 6 promises (1/2): foundations et ECMAScript 6 promises (2/2): the API
- (vidéo) What the heck is the event loop anyway? Philip Roberts – JSConf.EU 2014
- (vidéo) In The Loop. Jake Archibald – JSConf.Asia 2018 et le blogpost associé Tasks, microtasks, queues and schedules. Jake Archibald.