TD 3 : Fondamentaux de la programmation fonctionnelle en JavaScript

Objectifs du TD

À la fin de ce TD, vous saurez :

- définir précisément la pureté, l'immutabilité et la transparence référentielle, et les vérifier sur du code réel ;
- identifier les effets de bord cachés (y compris ceux qui sont subtils) ;
- écrire des fonctions d'ordre supérieur, des closures et des fonctions curryfiées ;
- composer des fonctions pour construire des traitements de données complexes ;
- refactoriser du code impératif en code fonctionnel.

Prérequis : syntaxe JS (fonctions fléchées, destructuration, spread).
Consigne générale : pour chaque exercice, écrivez des tests avec `console.assert` (ou Jest si disponible). Un code sans test n'est pas considéré comme terminé.

Mini-référence : mutateurs vs non-mutateurs sur les tableaux

Mutent le tableau	Ne mutent pas
`push`, `pop`, `shift`, `unshift`, `splice`, `sort`, `reverse`, `fill`	`map`, `filter`, `reduce`, `slice`, `concat`, `[…arr]`, `toSorted`, `toReversed`, `with`

Gardez ce tableau sous les yeux : `sort` et `reverse` sont des pièges classiques.

Exercice 1 : Fonctions pures

Définition à tester : une fonction est pure si (1) pour les mêmes arguments elle retourne toujours le même résultat, et (2) elle ne produit aucun effet observable en dehors de son résultat.

1.1 - Écrire une fonction pure

- Écrire `double(numbers)` qui retourne un **nouveau** tableau où chaque nombre est doublé.
- Écrire les tests suivants :

```
const input = [1, 2, 3];
const output = double(input);
console.assert(JSON.stringify(output) === "[2,4,6]");
console.assert(JSON.stringify(input) === "[1,2,3]");  // l'entrée n'a pas changé
console.assert(output !== input);                      // c'est un nouveau tableau
console.assert(JSON.stringify(double([])) === "[]");   // cas limite
```

1.2 - Vérifier la pureté

- Appeler `double` 1000 fois avec la même entrée et vérifier que le résultat est toujours identique (`JSON.stringify` pour comparer).
- Sans modifier le code, ajoutez un test qui prouve que `double` ne modifie pas son argument (`Object.freeze` sur l'entrée : la fonction ne doit pas lever d'erreur en mode strict).
- Compléter ce tableau pour `double` :

Critère	Respecté ?	Justification
Même entrée → même sortie		
Ne modifie pas ses arguments		
Ne lit aucun état externe		
Ne produit aucun effet observable (console, réseau, DOM, fichier…)		

1.3 - Quatre fonctions impures, quatre sources d'impureté

Pour chacune des fonctions ci-dessous, **identifiez la cause exacte d'impureté** parmi : *dépendance à un état externe*, *mutation d'argument*, *effet observable*, *non-déterminisme*. Puis **réécrivez-la en version pure**.

```
// A
let total = 0;
function addToTotal(n) { total += n; return total; }

// B
function addItem(cart, item) { cart.push(item); return cart; }

// C
function greet(name) {
  console.log("Bonjour " + name);
  return name.length;
}

// D
function isExpired(deadline) { return new Date() > deadline; }
```

1.4 - Pour aller plus loin : l'impureté cachée

- Cette fonction est-elle pure ? Justifiez en écrivant un test qui le démontre ou l'infirme.

```
function normalize(users) {
  return users.map(u => { u.name = u.name.trim(); return u; });
}
```

- Corrigez-la. Que constatez-vous sur la différence entre *“retourne un nouveau tableau”* et *“ne modifie rien”* ?

Points de discussion

- Dans 1.3, laquelle des quatre sources d'impureté est la plus difficile à repérer à la lecture

du code ? Pourquoi ?
- Une fonction qui fait `console.log` est-elle “dangereuse” ? Où placer les fonctions impures dans une application si on ne peut pas les supprimer ?
- Dans 1.4, `map` a-t-il rendu la fonction pure ? Que dit cet exemple sur l'usage “magique” des méthodes fonctionnelles ?
- Pourquoi une fonction pure est-elle triviale à tester, contrairement à A, B, C et D ?

Exercice 2 : Immutabilité

Objectif : produire des “versions modifiées” de données sans jamais les muter, y compris pour des structures imbriquées.

2.1 - Tableaux : les quatre opérations de base

Écrire quatre fonctions pures, sans mutateur, qui retournent un nouveau tableau :

- `append(arr, x)` : ajoute à la fin ;
- `removeAt(arr, i)` : retire l'élément à l'indice `i` ;
- `replaceAt(arr, i, x)` : remplace l'élément à l'indice `i` ;
- `sortedCopy(arr)` : retourne une copie triée par ordre croissant **sans** utiliser `toSorted` (utilisez le spread).

Vérifier avec `Object.freeze(arr)` que votre code ne tente jamais de muter l'entrée.

2.2 - Observer la mutation

- Exécuter ce code et **prédire le résultat avant** de lancer :

```
const a = [3, 1, 2];
const b = a;
b.push(4);
const c = a.sort();
console.log(a, b, c);
console.log(a === b, a === c);
```

- Expliquer en 3 phrases ce qu'est une *référence partagée* et pourquoi `a`, `b` et `c` sont liés.

2.3 - Objets : mises à jour immuables

Soit :

```
const user = {
  name: "Alice",
  address: { city: "Paris", zip: "75001" },
  tags: ["admin", "dev"]
};
```

Écrire **sans muter** `user` :

- `rename(user, newName)` ;
- `moveTo(user, newCity)` : modifie `address.city` (attention à l'imbrication) ;
- `addTag(user, tag)` ;
- `removeTag(user, tag)`.

Pour chaque fonction, tester que l'original est inchangé **et** que les parties non modifiées sont partagées (`newUser.tags === user.tags` pour `rename`).

2.4 - Le piège de la copie superficielle

- Que fait ce code ? Démontrez le bug par un test.

```
const copy = { ...user };
copy.address.city = "Lyon";
console.log(user.address.city);
```

- Corrigez de deux façons : (a) par copie imbriquée avec spread, (b) avec `structuredClone`. Comparez : quelle approche partage le plus de structure ? Laquelle est la plus coûteuse ?

2.5 - Pour aller plus loin : mise à jour profonde générique

- Écrire `setIn(obj, path, value)` qui met à jour une valeur à un chemin donné (ex : `["address", "city"]`) de façon immuable.

```
const updated = setIn(user, ["address", "city"], "Lyon");
console.assert(updated.address.city === "Lyon");
console.assert(user.address.city === "Paris");
console.assert(updated.tags === user.tags);
```

Points de discussion

- Dans 2.2, quel bug concret une référence partagée peut-elle provoquer dans une application où deux composants utilisent le même tableau ?
- `Object.freeze` est-il suffisant pour garantir l'immutabilité ? Testez-le sur `user.address`.
- Copier toute la structure à chaque modification est-il coûteux ? Comment le *partage structurel* (cf. `updated.tags === user.tags`) limite-t-il ce coût ? Quel lien avec Immer, Immutable.js ou Redux ?
- Citez un cas où la mutation locale est acceptable (ex : accumulateur dans un `reduce` non exposé). À quelle condition préserve-t-elle la pureté *vue de l'extérieur* ?

Exercice 3 : Transparence référentielle

Définition : une expression est référentiellement transparente si on peut la remplacer par sa valeur sans changer le comportement du programme.

3.1 - Substitution sur des fonctions simples

- Écrire add(a, b) et mul(a, b).
- Soit l'expression suivante :

```
add(mul(2, 3), mul(2, 3))
```

- Remplacer **à la main**, étape par étape, chaque appel par sa valeur (modèle de substitution) et vérifier que le résultat ne change pas.
- Factoriser :

```
const x = mul(2, 3);
add(x, x)
```

- Pourquoi cette factorisation est-elle sûre ?

3.2 - Détecter les ruptures de transparence

Pour chacune des fonctions suivantes, dire si elle est transparente et justifier. Tester en appelant deux fois de suite avec les mêmes arguments.

```
// A
let counter = 0;
const next = () => ++counter;

// B
const rand = () => Math.random();

// C
const now = () => Date.now();

// D (TAX est modifiable ailleurs dans le programme)
let TAX = 0.2;
const addTax = (price) => price * (1 + TAX);

// E
const first = (arr) => arr[0];

// F
const logAndAdd = (a, b) => {
  console.log(a);
  return a + b;
```

```
};
```

Pour chaque cas, reformulez : *quelle information supplémentaire (hors arguments) la fonction utilise-t-elle ou produit-elle ?*

3.3 - Rendre transparent

- Réécrivez **A** pour qu'il soit référentiellement transparent (indice : l'état doit devenir une entrée *et* une sortie).
- Réécrivez **B** pour rendre le hasard déterministe : random(seed) retourne un couple [valeur, nouvelleGraine] (générateur congruentiel linéaire simple, par exemple :

```
(seed * 1664525 + 1013904223) % 2**32
```

- Montrez que random(42) donne toujours le même résultat.

3.4 - Mémoïsation : l'application directe

- Écrire memoize(fn) qui retourne une version de fn mettant en cache ses résultats (clé : JSON.stringify(args)).
- Appliquer à une fonction coûteuse (ex : fib récursif naïf, comparez les temps pour fib(35)).
- **Test crucial** : appliquer memoize à la fonction next de 3.2.A et à rand de 3.2.B. Que se passe-t-il ? Pourquoi est-ce incorrect ?

Points de discussion

- Pourquoi la mémoïsation n'est-elle *valide* que sur des fonctions référentiellement transparentes ? Lien avec 3.4.
- En 3.1, la factorisation de mul(2, 3) est sûre. Dans un code avec effets de bord, serait-elle toujours sûre ? Quelle conséquence pour le *refactoring* et pour les optimisations d'un compilateur ?
- Une fonction peut être pure sans que son *appel* soit “inoffensif” (ex : très coûteuse). La transparence référentielle garantit-elle les performances ?
- Une fonction qui lit une constante globale (const TAX = 0.2) est-elle référentiellement transparente ? Et si la constante est un objet mutable ?

Exercice 4 : Fonctions d'ordre supérieur

Définition : une fonction d'ordre supérieur prend une fonction en argument et/ou retourne une fonction.

4.1 - Reconstruire les classiques

Sans utiliser les méthodes natives correspondantes, implémenter (avec une boucle ou de la récursion) :

- myMap(arr, fn) ;
- myFilter(arr, pred) ;

- myReduce(arr, fn, init).

Puis **réimplémenter myMap et myFilter uniquement à partir de myReduce**. Ce que vous découvrez : reduce est la primitive universelle de traitement de tableau.

4.2 - Fonctions qui retournent des fonctions (closures)

- multiplier(n) retourne une fonction qui multiplie son argument par n. Utiliser pour créer double, triple et les passer à myMap.
- greaterThan(n) retourne un prédicat. L'utiliser avec filter.
- counter() retourne une fonction qui retourne 1, 2, 3... à chaque appel. **Cette fonction est-elle pure ?** Où est stocké l'état ? Que dire de counter elle-même (celle qui crée) ?

4.3 - Currying et application partielle

- Écrire curry(fn) qui transforme f(a, b, c) en f(a)(b)(c) (à arité fixe, via fn.length).
- Écrire partial(fn, ...args) qui fige les premiers arguments.
- Utiliser sur les fonctions suivantes :

```
const add3 = (a, b, c) => a + b + c;
const formatPrice = (currency, decimals, value) => /* à compléter */;
```

- Créer formatEUR et formatUSD2 à partir de formatPrice.

4.4 - Composition

- Écrire compose(...fns) (exécution de droite à gauche) et pipe(...fns) (gauche à droite).
- Construire slugify en composant : trim, toLowerCase, remplacement des espaces par des tirets, suppression des caractères non alphanumériques.

```
console.assert(slugify("  Hello World !  ") === "hello-world");
```

- Vérifier que compose(f, compose(g, h)) et compose(compose(f, g), h) donnent le même résultat (associativité) sur un exemple.

4.5 - Pièges des méthodes natives

- Prédire puis exécuter :

```
["1", "2", "3"].map(parseInt)
```

- Expliquer le résultat (arguments passés par map au callback). Corriger.
- Pourquoi forEach est-il *inadapté* à un style fonctionnel (que retourne-t-il ? quel est son seul intérêt ?) ?
- reduce sans valeur initiale sur un tableau vide : que se passe-t-il ? Quelle est la règle pour choisir une valeur initiale (élément neutre) ?

4.6 - Pour aller plus loin

- Écrire once(fn) (n'exécute fn qu'une fois) et debounce ou retry(n, fn) : ces utilitaires sont des HOF “décorateurs” qui ajoutent un comportement sans modifier la fonction d'origine.
- Écrire groupBy(arr, keyFn) avec reduce, retournant un objet de tableaux, **sans muter l'accumulateur** (spread à chaque itération). Comparez avec la version qui mute l'accumulateur : quel est le coût, et pourquoi la mutation locale reste-t-elle défendable ici ?

Points de discussion

- Dans 4.1, qu'est-ce qui rend reduce plus “puissant” que map et filter ? Peut-on exprimer reduce avec map ?
- Dans 4.2, où vit l'état de la closure ? Comparer avec un objet. Quand une closure est-elle un bon outil d'encapsulation ?
- Le currying favorise-t-il la réutilisation ? Dans quel cas rend-il le code moins lisible (ordre des paramètres) ? Quelle règle pour ordonner les arguments (données en dernier) ?
- pipe vs enchaînement de méthodes (arr.map(...).filter(...)) : avantages et limites de chaque approche ?

Exercice 5 : Synthèse : panier d'achat

Contexte : vous développez le calcul d'un panier pour un site e-commerce. Toutes les fonctions doivent être **pures** et **sans mutation**.

```
const products = [
  { id: 1, name: "Clavier",  price: 80,  category: "tech",   stock: 5 },
  { id: 2, name: "Souris",   price: 30,  category: "tech",   stock: 0 },
  { id: 3, name: "Livre JS", price: 40,  category: "book",   stock: 12 },
  { id: 4, name: "Cahier",   price: 5,   category: "office", stock: 100 },
  { id: 5, name: "Écran",    price: 250, category: "tech",   stock: 2 }
];
```

5.1 - Version impérative (point de départ)

On vous donne ce code :

```
let total = 0;
for (let i = 0; i < products.length; i++) {
  if (products[i].stock > 0) {
    products[i].price = products[i].price * 0.9;
    total += products[i].price;
  }
}
console.log("Total : " + total);
```

- Lister **tous** les problèmes (au moins 4 : mutation, effet de bord, mélange calcul/affichage, non-

réutilisable, non-testable…).
- Exécuter deux fois d'affilée. Que constatez-vous sur products ?

5.2 - Briques élémentaires pures

Écrire et tester chacune isolément :

- applyDiscount(rate)(product) : retourne un **nouveau** produit avec le prix réduit (currying : le taux d'abord). Arrondir à 2 décimales.
- inStock(product) : prédicat.
- byCategory(cat)(product) : prédicat curryfié.
- getPrice(product) : sélecteur.
- sum(numbers) : somme via reduce (valeur initiale 0).

5.3 - Assemblage

- Écrire cartTotal(products, rate) en composant les briques avec pipe : filtrer le stock, appliquer la remise, extraire les prix, sommer.
- Vérifier : le total attendu est **337.5** pour 10 % de remise sur l'exemple (tests unitaires obligatoires), et products est inchangé (Object.freeze profond sur les données).

5.4 - Extensions métier

Chaque extension doit **réutiliser** les briques existantes, pas dupliquer du code :

- totalByCategory(products, rate) : retourne un objet de la forme suivante (via reduce) :

```
{ tech: ..., book: ..., office: ... }
```

- applyBulkDiscount : une remise de 5 % supplémentaire si le total dépasse 200. Cette règle doit être une fonction pure séparée, composable.
- receipt(products, rate) : retourne un tableau de **lignes de texte** (chaînes) décrivant le ticket. **L'affichage (console.log) se fait en dehors**, dans une seule fonction impure en bout de chaîne.

5.5 - Analyse de la pureté (partie rédigée)

Pour chaque fonction écrite, remplir :

Fonction	Pure ?	Mutation ?	Transparente ?	Remplaçable par sa valeur ?
applyDiscount				
cartTotal				
receipt				
fonction d'affichage				

Ensuite, **démontrer** la transparence référentielle de cartTotal : choisissez un appel, remplacez-le par sa valeur dans un autre calcul, et vérifiez l'équivalence.

5.6 - Pour aller plus loin

- Rendre le taux de remise *dépendant du client* (regular 0 %, premium 10 %, vip 20 %) sans if/switch en cascade : utilisez un objet de correspondance et la composition.
- Écrire updateStock(products, id, delta) qui retourne un nouveau tableau avec le stock mis à jour pour un produit (rappel exercice 2 : mise à jour immuable dans un tableau d'objets).
- Implémenter un *panier* comme un **réducteur** : cartReducer(state, action) où action vaut l'un des deux objets suivants :

```
{ type: "ADD", product }
{ type: "REMOVE", id }
```

- Rejouez une liste d'actions avec reduce. Observez le lien avec Redux et le pattern “état = fonction des événements passés”.

Points de discussion

- Entre 5.1 et 5.3, qu'avez-vous gagné en testabilité ? Combien de tests faut-il pour la version impérative vs. pour chaque brique ?
- Où sont passés les effets de bord ? Pourquoi les repousser à la *périphérie* du programme (“functional core, imperative shell”) ?
- Si un collègue ajoute une règle de remise (ex : Black Friday), quelles fonctions faut-il modifier dans la version impérative ? Dans la version composée ?
- La version fonctionnelle parcourt plusieurs fois le tableau (filter, map, reduce). Est-ce un problème ? Comment un *transducer* ou un évaluateur paresseux y répond-il ? À partir de quelle taille de données cela compte-t-il vraiment ?
- Dans 5.6 (réducteur), pourquoi l'immutabilité rend-elle possible le “time travel debugging” et l'annulation (undo) ?

From:
http://slamwiki2.kobject.net/ - **SlamWiki 2.1**

Permanent link:
http://slamwiki2.kobject.net/cnam/utc503/td3?rev=1792473076

Last update: **2026/10/20 07:11**