

Corrigé – Examen de Rattrapage

MAT-301 Topologie Métrique

Exercice 1 – Questions de cours

1.a) $\bar{A} = \{x \in E : \forall \varepsilon > 0, B(x, \varepsilon) \cap A \neq \emptyset\}$.

(Formes équivalentes : le plus petit fermé contenant A , l'intersection de tous les fermés contenant A , ou $\{\lim x_n : (x_n) \subseteq A \text{ convergente}\}$.)

1.b) (\mathbb{Q}, d_{us}) . Exemple : $x_n = (1 + 1/n)^n$. Cette suite est de Cauchy dans \mathbb{Q} (car convergente dans \mathbb{R}), mais $\lim x_n = e \notin \mathbb{Q}$.

(Autre classique : développement décimal de $\sqrt{2}$ tronqué à n chiffres.)

1.c) Soit $(x_n) \rightarrow \ell$. Pour $\varepsilon > 0$, $\exists N : n \geq N \Rightarrow d(x_n, \ell) < \varepsilon/2$. Donc pour $m, n \geq N$:

$$d(x_m, x_n) \leq d(x_m, \ell) + d(\ell, x_n) < \varepsilon.$$

1.d) Soit $B = B(a, r)$ la boule ouverte. Montrons $\bar{B} = \bar{B}(a, r)$.

Attention : ce résultat est faux dans un espace métrique quelconque ! Il utilise la structure d'espace vectoriel normé.

(\subseteq) Soit $x \in \bar{B}$, alors $\exists (x_n) \subseteq B$ avec $x_n \rightarrow x$. Donc $\|x_n - a\| < r$ et par continuité de la norme, $\|x - a\| \leq r$.

(\supseteq) Soit $\|x - a\| \leq r$. Si $x = a$, trivial. Sinon, posons $x_n = a + (1 - 1/n)(x - a)$. Alors $x_n \in B$ (car $\|x_n - a\| = (1 - 1/n)\|x - a\| < r$) et $x_n \rightarrow x$.

1.e) Soit $x, y \in E$. Pour tout $a \in A$:

$$d(x, a) \leq d(x, y) + d(y, a) \implies d_A(x) \leq d(x, y) + d_A(y).$$

Par symétrie, $|d_A(x) - d_A(y)| \leq d(x, y)$. Donc d_A est 1-lipschitzienne, donc continue.

Exercice 2 – Sous-ensembles

2.a) $(E, d_{disc}), A = \{1, 2, 3\}$.

Tout singleton $\{x\} = B(x, 1/2)$ est ouvert, donc tout sous-ensemble est ouvert et fermé. Ainsi A est **ouvert, fermé, et compact** (fini dans un espace discret).

2.b) $B = \{x + y + z = 1\} \subseteq \mathbb{R}^3$.

B est un **hyperplan affine** (sous-espace affine de codimension 1).

$B = f^{-1}(\{1\})$ où $f(x, y, z) = x + y + z$ est linéaire continue. Donc B est **fermé**.

B n'est pas borné (contient $(t, 0, 1 - t)$ pour tout $t \in \mathbb{R}$), donc **non compact**.

B n'est pas **ouvert** : soit $p = (0, 0, 1) \in B$. Pour tout $\varepsilon > 0$, le point $p' = (0, 0, 1 + \varepsilon/2)$ vérifie $\|p - p'\| = \varepsilon/2 < \varepsilon$ mais $p' \notin B$. Donc $B(p, \varepsilon) \not\subseteq B$.

2.c) $C = \ker(D) = \{f \in \mathcal{C}^1([0, 1]) : f' = 0\}$ dans $(E, \|\cdot\|_\infty)$.

C est l'ensemble des fonctions constantes $\cong \mathbb{R}$.

C est **fermé** : Soit $(f_n) \subseteq C$ avec $f_n \rightarrow f$ dans $(E, \|\cdot\|_\infty)$. Chaque $f_n \equiv c_n$ est constante. Alors $\|f_n - f\|_\infty = \sup_t |c_n - f(t)| \rightarrow 0$. En particulier, pour tous $s, t \in [0, 1]$:

$$|f(s) - f(t)| \leq |f(s) - c_n| + |c_n - f(t)| \leq 2\|f_n - f\|_\infty \rightarrow 0.$$

Donc f est constante, i.e. $f \in C$.

C n'est pas **compact** : $C \cong \mathbb{R}$ (non borné).

C n'est pas **ouvert** : pour $f \equiv c$, la fonction $f_\varepsilon(t) = c + \varepsilon t \notin C$ mais $\|f - f_\varepsilon\|_\infty = \varepsilon \rightarrow 0$.

Exercice 3 – Connexité

3.a) Dans \mathbb{R} , les connexes sont les intervalles. A, B intervalles $\Rightarrow A \cap B$ intervalle (éventuellement vide). Un intervalle est **connexe**.

3.b) Contre-exemple dans \mathbb{R}^2 :

$$A = \text{cercle unité } S^1, \quad B = \text{droite } \{y = 0\}.$$

A et B sont connexes (arcs-connexes). Mais $A \cap B = \{(-1, 0), (1, 0)\}$: deux points isolés \Rightarrow **non connexe**.

3.c) Soit $E \subseteq \mathbb{R}$ connexe $\Rightarrow E$ est un intervalle. L'intérieur d'un intervalle est un intervalle (possiblement vide), donc **connexe**.

3.d) Contre-exemple dans \mathbb{R}^2 :

$$E = \bar{B}((-1, 0), 1) \cup \bar{B}((1, 0), 1) \quad (\text{deux disques fermés tangents en l'origine})$$

E est connexe (les deux disques se touchent en $(0, 0)$). Mais :

$$\overset{\circ}{E} = B((-1, 0), 1) \cup B((1, 0), 1) \quad (\text{deux boules ouvertes disjointes})$$

qui n'est **pas connexe** (union de deux ouverts non vides disjointes).