Astérisque
330, 2010, p. 213–262

LA SÉRIE PRINCIPALE UNITAIRE DE $\mathbf{GL}_2(\mathbf{Q}_p)$

par

Pierre Colmez

Résumé. — Cet article s'inscrit dans le cadre de la correspondance de Langlands locale p-adique pour la série principale unitaire de $\mathbf{GL}_2(\mathbf{Q}_p)$. Nous utilisons la théorie des (φ, Γ)-modules de Fontaine pour établir, dans les cas semi-stable et non géométrique, un lien direct entre (le dual de) la représentation de $\mathbf{GL}_2(\mathbf{Q}_p)$ et le (φ, Γ)-module associés à la représentation de $\mathrm{Gal}(\overline{\mathbf{Q}}_p/\mathbf{Q}_p)$.

***Abstract* (The unitary principal series of $\mathbf{GL}_2(\mathbf{Q}_p)$).** — This paper is devoted to the p-adic local Langlands correspondence for the unitary principal series of $\mathbf{GL}_2(\mathbf{Q}_p)$. We use Fontaine's theory of (φ, Γ)-modules to establish, in the semistable and non geometric cases, a direct link between the (dual of the) representation of $\mathbf{GL}_2(\mathbf{Q}_p)$ and the (φ, Γ)-module attached to the representation of $\mathrm{Gal}(\overline{\mathbf{Q}}_p/\mathbf{Q}_p)$.

Introduction

Cet article est une fusion partielle de **[22]** et **[23]** qui sont destinés à rester inédits. Certaines questions qui y sont soulevées sont traitées dans **[29]** ; quand c'est le cas, ceci est indiqué par une note de bas de page.

0.1. Notations. — Soit $p \geq 3$ un nombre premier(1). On fixe une clôture algébrique $\overline{\mathbf{Q}}_p$ de $\mathbf{Q}_p$, et on note $\mathscr{G}_{\mathbf{Q}_p} = \mathrm{Gal}(\overline{\mathbf{Q}}_p/\mathbf{Q}_p)$ le groupe de Galois absolu de $\mathbf{Q}_p$ et $W_{\mathbf{Q}_p} \subset \mathscr{G}_{\mathbf{Q}_p}$ son groupe de Weil (qui est dense dans $\mathscr{G}_{\mathbf{Q}_p}$). Si $g \in W_{\mathbf{Q}_p}$, on note $\deg(g) \in \mathbf{Z}$ l'entier défini par $g(x) = x^{p^{\deg(g)}}$ si $x \in \overline{\mathbf{F}}_p$.

Soit $\chi : \mathscr{G}_{\mathbf{Q}_p} \to \mathbf{Z}_p^*$ le caractère cyclotomique. Si $F_\infty = \mathbf{Q}_p(\boldsymbol{\mu}_{p^\infty})$, le noyau $\mathscr{H}$ de χ est aussi égal à $\mathrm{Gal}(\overline{\mathbf{Q}}_p/F_\infty)$, ce qui permet de voir χ aussi comme un isomorphisme de $\Gamma = \mathscr{G}_{\mathbf{Q}_p}/\mathscr{H} = \mathrm{Gal}(F_\infty/\mathbf{Q}_p)$ sur $\mathbf{Z}_p^*$. Si $a \in \mathbf{Z}_p^*$, on note σ_a l'élément de Γ défini par $\chi(\sigma_a) = a$.

***Classification mathématique par sujets* (2010).** — 11F**, 11S**.
Mots clefs. — Série principale, représentation unitaire, correspondance de Langlands locale.

(1) L'extension à $p = 2$ ne devrait pas poser de problèmes autres que rédactionnels...

Dans tout l'article, L désigne une extension finie de $\mathbf{Q}_p$, d'anneau des entiers $\mathscr{O}_L$ et de corps résiduel k_L. Soit $\widehat{\mathscr{T}}(L)$ l'ensemble des caractères continus $\delta : \mathbf{Q}_p^* \to L^*$. La notation est justifiée par le fait que $\widehat{\mathscr{T}}(L)$ est l'ensemble des points L-rationnels d'une variété analytique $\widehat{\mathscr{T}}$. On note juste $x \in \widehat{\mathscr{T}}(L)$ le caractère induit par l'inclusion de $\mathbf{Q}_p$ dans L, et $|x|$ le caractère envoyant $x \in \mathbf{Q}_p^*$ sur $p^{-v_p(x)}$. Si $\delta \in \widehat{\mathscr{T}}(L)$, on note $w(\delta)$ son *poids*, défini par $w(\delta) = \frac{\log \delta(u)}{\log u}$, où $u \in \mathbf{Z}_p^*$ n'est pas une racine de l'unité.

L'abélianisé $W_{\mathbf{Q}_p}^{\mathrm{ab}}$ de $W_{\mathbf{Q}_p}$ est isomorphe à $\mathbf{Q}_p^*$ d'après la théorie locale du corps de classes, ce qui permet de voir un élément de $\widehat{\mathscr{T}}(L)$ aussi comme un caractère continu de $W_{\mathbf{Q}_p}$. De manière explicite, si $g \in W_{\mathbf{Q}_p}$ et $\delta \in \widehat{\mathscr{T}}(L)$, alors $\delta(g)$ est défini par la formule

$$\delta(g) = \delta(p)^{-\deg(g)} \delta(\chi(g)).$$

Si δ est *unitaire* (i.e. si $v_p(\delta(p)) = 0$), alors δ se prolonge par continuité à $\mathscr{G}_{\mathbf{Q}_p}$, ce qui permet aussi de voir δ comme un caractère de $\mathscr{G}_{\mathbf{Q}_p}$, et $w(\delta)$ est alors le poids de Hodge-Tate généralisé de la représentation $L(\delta)$ de $\mathscr{G}_{\mathbf{Q}_p}$ définie par δ. Par exemple $x|x|$, qui est unitaire, correspond au caractère cyclotomique χ ; son poids est 1.

0.2. L'espace des paramètres $\mathscr{S}_{\mathrm{irr}}$. — On note (δ_1, δ_2) un élément générique de $\widehat{\mathscr{T}} \times \widehat{\mathscr{T}}$, et on définit $\mathscr{S}$ comme la variété analytique obtenue en éclatant $\widehat{\mathscr{T}} \times \widehat{\mathscr{T}}$ le long des sous-variétés $\delta_1 \delta_2^{-1} = x^i|x|$, pour i entier ≥ 1, et des variétés $\delta_1 \delta_2^{-1} = x^{-i}$, pour i entier ≥ 0. On a donc une projection de $\mathscr{S}$ sur $\widehat{\mathscr{T}} \times \widehat{\mathscr{T}}$ dont les fibres sont en général réduites à un point et isomorphes à $\mathbf{P}^1$ dans le cas contraire. On note un élément générique s de $\mathscr{S}(L)$ sous la forme $s = (\delta_1, \delta_2, \mathscr{L})$, où $\mathscr{L} = \infty \in \mathbf{P}^0(L)$ si la fibre au-dessus de (δ_1, δ_2) est réduite à un point, et $\mathscr{L} \in \mathbf{P}^1(L)$ sinon.

On note $\mathscr{S}_+$ le fermé de $\mathscr{S}$ constitué des s vérifiant les conditions

$$v_p(\delta_1(p)) + v_p(\delta_2(p)) = 0 \quad \text{et} \quad v_p(\delta_1(p)) \geq 0.$$

Si $s \in \mathscr{S}_+(L)$, on associe à s les invariants $u(s) \in \mathbf{Q}_+$ et $w(s) \in L$ définis par

$$u(s) = v_p(\delta_1(p)) = -v_p(\delta_2(p)) \quad \text{et} \quad w(s) = w(\delta_1) - w(\delta_2).$$

On partitionne $\mathscr{S}_+$ sous la forme $\mathscr{S}_+ = \mathscr{S}_+^{\mathrm{ng}} \coprod \mathscr{S}_+^{\mathrm{cris}} \coprod \mathscr{S}_+^{\mathrm{st}} \coprod \mathscr{S}_+^{\mathrm{ord}} \coprod \mathscr{S}_+^{\mathrm{ncl}}$, où

- $\mathscr{S}_+^{\mathrm{ng}}$ est l'ensemble des s tels que $w(s)$ ne soit pas un entier ≥ 1 ;
- $\mathscr{S}_+^{\mathrm{cris}}$ est l'ensemble des s tels que $w(s)$ soit un entier ≥ 1, $u(s) < w(s)$ et $\mathscr{L} = \infty$;
- $\mathscr{S}_+^{\mathrm{st}}$ est l'ensemble des s tels que $w(s)$ soit un entier ≥ 1, $u(s) < w(s)$ et $\mathscr{L} \neq \infty$;
- $\mathscr{S}_+^{\mathrm{ord}}$ est l'ensemble des s tels que $w(s)$ soit un entier ≥ 1, $u(s) = w(s)$;
- $\mathscr{S}_+^{\mathrm{ncl}}$ est l'ensemble des s tels que $w(s)$ soit un entier ≥ 1, $u(s) > w(s)$.

Remarque 0.1. — Les exposants « ng », « cris », « st », « ord » et « ncl » sont respectivement censés faire penser à « non géométrique », « cristalline », « semi-stable », « ordinaire » et « non classique ». Cette terminologie vient de la classification des représentations galoisiennes associées aux formes modulaires surconvergentes.

On partitionne aussi $\mathscr{S}_+$ sous la forme $\mathscr{S}_+ = \mathscr{S}_0 \coprod \mathscr{S}_*$, où

- $\mathscr{S}_0$ est l'ensemble des s tels que $u(s) = 0$;

• $\mathscr{S}_*$ est l'ensemble des s tels que $u(s) > 0$.

Si truc $\in \{\mathrm{ng}, \mathrm{cris}, \mathrm{st}, \mathrm{ord}, \mathrm{ncl}\}$ et machin $\in \{+, 0, *\}$, on note $\mathscr{S}^{\mathrm{truc}}_{\mathrm{machin}}$ l'intersection de $\mathscr{S}^{\mathrm{truc}}$ et $\mathscr{S}_{\mathrm{machin}}$. En particulier, les ensembles $\mathscr{S}^{\mathrm{ord}}_0$ et $\mathscr{S}^{\mathrm{ncl}}_0$ sont vides.

Finalement, on pose $\mathscr{S}_{\mathrm{irr}} = \mathscr{S}^{\mathrm{ng}}_* \coprod \mathscr{S}^{\mathrm{cris}}_* \coprod \mathscr{S}^{\mathrm{st}}_*$.

Remarque 0.2. — L'application $s = (\delta_1, \delta_2, \infty) \mapsto s' = (x^{w(s)}\delta_2, x^{-w(s)}\delta_1, \infty)$ est une involution de $\mathscr{S}^{\mathrm{cris}}_*$

0.3. Représentations de $\mathbf{GL}_2(\mathbf{Q}_p)$. — Si $\mathscr{L} \in L$, on note $\log_{\mathscr{L}}$ le logarithme normalisé par $\log_{\mathscr{L}} p = \mathscr{L}$, et si $\mathscr{L} = \infty$, on définit $\log_{\mathscr{L}}$ par $\log_\infty = v_p$; on a donc $\log_\infty(x) = \lim_{\mathscr{L}\to\infty} \mathscr{L}^{-1} \log_{\mathscr{L}}(x)$.

Si $s = (\delta_1, \delta_2, \mathscr{L}) \in \mathscr{S}_+$, on note δ_s le caractère $(x|x|)^{-1}\delta_1\delta_2^{-1}$. Remarquons que, si $s \in \mathscr{S}_*$, on ne peut avoir $\mathscr{L} \neq \infty$ que si δ_s est de la forme x^i, avec $i \in \mathbf{N}$. On associe à s les représentations $B(s)$, $M(s)$ et $\Pi(s)$ de $\mathbf{GL}_2(\mathbf{Q}_p)$ définies de la manière suivante.

$B(s)$ est l'ensemble des $\phi : \mathbf{Q}_p \to L$ de classe[(2)] $\mathscr{C}^{u(s)}$ telles que $x \mapsto \delta_s(x)\phi(1/x)$ se prolonge en une fonction de classe $\mathscr{C}^{u(s)}$ en 0. L'action de $\left(\begin{smallmatrix} a & b \\ c & d \end{smallmatrix}\right) \in \mathbf{GL}_2(\mathbf{Q}_p)$ est donnée par la formule

$$\big(\phi \star_s \left(\begin{smallmatrix} a & b \\ c & d \end{smallmatrix}\right)\big)(x) = (x|x|\delta_1^{-1})(ad - bc)\,\delta_s(cx + d)\phi\Big(\frac{ax + b}{cx + d}\Big).$$

Si δ_s n'est pas de la forme x^i, avec $i \in \mathbf{N}$, on prend pour $M(s)$ l'espace vectoriel engendré par 1, et les $\delta_s(x - a)$, pour $a \in \mathbf{Q}_p$.

Si $\delta_s = x^i$, avec $i \in \mathbf{N}$, on note $M(s)$ l'intersection avec $B(s)$ de l'espace vectoriel engendré par les $\delta_s(x - a)$ et les $\delta_s(x - a)\log_{\mathscr{L}}(x - a)$, pour $a \in \mathbf{Q}_p$.

Finalement, si $s \in \mathscr{S}_*$, on pose $\Pi(s) = B(s)/\widehat{M(s)}$, où $\widehat{M(s)}$ désigne l'adhérence de $M(s)$ dans $B(s)$.

Remarque 0.3. — Si $s = (\delta_1, \delta_2, \mathscr{L}) \in \mathscr{S}_0$, on a $M(s) = 0$, mais il ne semble pas qu'il faille prendre $\Pi(s) = B(s)$ si on veut étendre la correspondance de Langlands p-adique aux représentations de $\mathscr{G}_{\mathbf{Q}_p}$ qui ne sont pas irréductibles. En fait, le cas des représentations ordinaires (cf. [**11**]) suggère que le bon espace à considérer pour $\Pi(s)$ doit être une extension[(3)] de $B(s)$ par $B(s')$, où $s' = (\delta_2, \delta_1, \mathscr{L})$.

Compte-tenu de la remarque ci-dessus, nous nous restreindrons au cas $s \in \mathscr{S}_*$. L'énoncé ci-dessous est maintenant démontré sauf dans la cas où $s \in \mathscr{S}^{\mathrm{cris}}$ et la représentation de Weil-Deligne associée n'est pas semi-simple, dit *cas exceptionnel.*

(2) Rappelons [**27**] que ϕ est de classe $\mathscr{C}^u$ si $\phi(a + x)$ a un développement limité à l'ordre $[u]$ en tout a, et si le reste est $o(|x|^u)$, uniformément (en a) sur tout compact. L'application qui à $\phi \in B(s)$ associe les restrictions de ϕ et $\delta_s(x)\phi(1/x)$ à $\mathbf{Z}_p$ et $p\mathbf{Z}_p$ est un isomorphisme de $B(s)$ sur $\mathscr{C}^{u(s)}(\mathbf{Z}_p) \oplus \mathscr{C}^{u(s)}(p\mathbf{Z}_p)$, ce qui munit $B(s)$ d'une structure de L-banach.

(3) C'est effectivement ce que donne la construction de [**29**].

Théorème 0.4. — (i) *Si* $s = (\delta_1, \delta_2, \mathscr{L}) \in \mathscr{S}_*$, *alors* $\Pi(s) \neq 0$ *et est unitaire sauf si* $s \in \mathscr{S}_*^{\mathrm{ncl}}$. *De plus,*

– *si* $s \in \mathscr{S}_{\mathrm{irr}}$, *alors* $\Pi(s)$ *est irréductible et admissible,*

– *si* $s \in \mathscr{S}_*^{\mathrm{ord}} \coprod \mathscr{S}_*^{\mathrm{ncl}}$, *alors* $\Pi(s)$ *n'est pas irréductible :* $(\frac{d}{dx})^{w(s)}$ *induit un morphisme* $\mathbf{GL}_2(\mathbf{Q}_p)$*-équivariant de* $B(s)$ *dans* $B(s')$, *où* $s' = (x^{-w(s)}\delta_1, x^{w(s)}\delta_2, \mathscr{L})$, *tuant* $M(s)$, *et* $\Pi(s)$ *est une extension de* $B(s')$ *par l'adhérence de l'image des fonctions localement polynomiales de degré* $< w(s)$ *dans* $\Pi(s)$.

(ii) *Si* $s = (\delta_1, \delta_2, \mathscr{L})$ *et* $s' = (\delta_1', \delta_2', \mathscr{L}')$ *sont deux éléments distincts de* $\mathscr{S}_{\mathrm{irr}}$, *alors il existe un morphisme* $\mathbf{GL}_2(\mathbf{Q}_p)$*-équivariant non nul* $\Pi(s) \to \Pi(s')$ *si et seulement si* $s, s' \in \mathscr{S}_*^{\mathrm{cris}}$ *et* $\delta_1' = x^{w(s)}\delta_2$, $\delta_2' = x^{-w(s)}\delta_1$.

Remarque 0.5. — (i) Il semble difficile de démontrer le th. 0.4 directement, et la démonstration dont on dispose passe par les (φ, Γ)-modules attachés aux représentations trianguliness de dimension 2 (cf. th. 0.6). Elle établit en même temps une correspondance de Langlands locale p-adique pour ces représentations.

(ii) Breuil [**8**] a démontré une bonne partie du (i) pour $s \in \mathscr{S}_*^{\mathrm{cris}}$ et $w(s)$ petit ($w(s) \leq 2p$), en calculant la réduction modulo p de $\Pi(s)$. Par la même méthode (mais avec des calculs nettement plus compliqués), Breuil et Mézard [**12**] ont démontré une bonne partie du (i) pour $s \in \mathscr{S}_*^{\mathrm{st}}$ et $w(s)$ petit ($w(s) \leq p-1$). Leur calculs suggèrent une compatibilité[(4)] entre la correspondance en caractéristique 0 et celle en caractéristique p (cf. [**7**]) et laissent entrevoir la possibilité d'obtenir une réalisation géométrique de la correspondance de Langlands locale p-adique analogue à celle obtenue par Harris et Taylor [**36**] (cf. aussi [**34**]) dans le cas classique.

(iii) Breuil [**9, 10**] a démontré une bonne partie du point (i) dans le cas d'une représentation semi-stable associée à une forme modulaire f. Il a en fait démontré que la représentation $\Pi(s)$ intervient dans le morceau correspondant à f dans le complété p-adique de la cohomologie de la tour des courbes modulaires, si et seulement si s est le paramètre correspondant à la représentation[(5)] de $\mathscr{G}_{\mathbf{Q}_p}$ attachée à f via la correspondance ci-dessus, ce qui tend à indiquer que cette correspondance est compatible avec une correspondance de Langlands p-adique globale qui reste à définir[(6)].

0.4. Représentations triangulines de dimension 2. — Fontaine a établi une équivalence de catégories entre les L-représentations de $\mathscr{G}_{\mathbf{Q}_p}$ et les (φ, Γ)-modules étales sur le corps[(7)] $\mathscr{E}$. Cette équivalence de catégories a été complétée [**13, 40**], par la suite, par des équivalences de catégories entre les (φ, Γ)-modules étales sur $\mathscr{E}$, $\mathscr{E}^\dagger$ et $\mathscr{R}$.

Grâce à ces équivalences de catégories, on construit [**25**], pour tout $s \in \mathscr{S}_* - \mathscr{S}_*^{\mathrm{ncl}}$, une L-représentation $V(s)$ de dimension 2 de $\mathscr{G}_{\mathbf{Q}_p}$. La construction de $V(s)$ passe

(4) Cette compatibilité est une des constituantes de la correspondance de [**29**].

(5) C'est la restriction à $\mathscr{G}_{\mathbf{Q}_p}$ de la représentation de $\mathscr{G}_{\mathbf{Q}}$ construite par Deligne [**30**].

(6) La correspondance globale modulo p, pour $\mathbf{GL}_2(\mathbf{Q})$, n'est autre que la conjecture de Serre ; pour la p-adique, le lecteur est renvoyé à [**11, 32, 33**].

(7) Cf. n° I.1 pour la construction des corps $\mathscr{E}$, $\mathscr{E}^\dagger$ et de l'anneau $\mathscr{R}$.

par celle du (φ,Γ)-module étale sur $\mathscr{R}$ qui lui correspond, duquel on déduit le (φ,Γ)-module $D(s)^\dagger$, étale sur $\mathscr{E}^\dagger$, attaché à $V(s)$, puis $D(s) = \mathscr{E}\otimes_{\mathscr{E}^\dagger} D(s)^\dagger$, le (φ,Γ)-module étale sur $\mathscr{E}$, correspondant à $V(s)$ via l'équivalence de catégories de Fontaine.

Par ailleurs, un (φ,Γ)-module étale D sur $\mathscr{E}^\dagger$ est muni d'un inverse à gauche ψ de φ commutant à l'action de Γ. L'ensemble $(D^\sharp\boxtimes\mathbf{Q}_p)_b$, des suites bornées[8] $x=(x^{(n)})_{n\in\mathbf{Z}}$ de D vérifiant $\psi(x^{(n+1)}) = x^{(n)}$ quel que soit $n\in\mathbf{Z}$, est alors muni d'une action naturelle [**28**, § III.2] du sous-groupe mirabolique $P(\mathbf{Q}_p)=\big\{\big(\begin{smallmatrix} a & b\\ 0 & 1\end{smallmatrix}\big),\ a\in\mathbf{Q}_p^*,\ b\in\mathbf{Q}_p\big\}$ de $\mathbf{GL}_2(\mathbf{Q}_p)$.

Le lien entre $\Pi(s)$ et $V(s)$ est donné par le résultat suivant, où $\check{D}$ désigne le dual de Tate[9] de D, si D est un (φ,Γ)-module étale sur $\mathscr{E}$.

Théorème 0.6. — *Si $s\in\mathscr{S}_{\mathrm{irr}}$ n'est pas exceptionnel[10], le module $(\check{D}(s)^\sharp\boxtimes\mathbf{Q}_p)_b$ est naturellement isomorphe au dual $\Pi(s)^*$ de $\Pi(s)$ en tant que module sous l'action du mirabolique.*

Remarque 0.7. — (i) Le th. 0.6 permet de démontrer une grande partie du th. 0.4. L'admissibilité de $\Pi(s)$ peut, par exemple, se déduire de [**7**], en utilisant la compatibilité [**2**] de la correspondance ci-dessus avec la correspondance de Langlands locale modulo p. L'irréductibilité et les cas d'isomorphisme peuvent se prouver en extrayant le module $D(s)$ de $(\check{D}^\sharp\boxtimes\mathbf{Q}_p)_b$. En fait, il résulte de [**28**, th. 0.4] que $\Pi(s)$ est déjà irréductible comme représentation du mirabolique et de [**28**, th. 0.6] que $\Pi(s)\cong\Pi(s')$ si et seulement si c'est le cas en restriction au mirabolique.

(ii) On a $\mathscr{S}_{\mathrm{irr}}=\mathscr{S}_*^{\mathrm{ng}}\coprod\mathscr{S}_*^{\mathrm{cris}}\coprod\mathscr{S}_*^{\mathrm{st}}$. Dans cet article on ne traite que les deux cas $s\in\mathscr{S}_*^{\mathrm{st}}$ et $s\in\mathscr{S}_*^{\mathrm{ng}}$ (la méthode permet de traiter aussi la moitié du cas $s\in\mathscr{S}_*^{\mathrm{cris}}$) ; le lecteur est renvoyé à [**4**] pour les cas restants. Historiquement, le premier cas à avoir été traité [**22**] est le cas $s\in\mathscr{S}_*^{\mathrm{st}}$; la démonstration a été adaptée par Berger et Breuil [**4**] pour traiter le cas où $s\in\mathscr{S}_*^{\mathrm{cris}}$ (à part le cas exceptionnel) qui est particulièrement intéressant car c'est le seul où des isomorphismes non triviaux apparaissent (cf. (ii) du th. 0.4). La démonstration dans le cas $\mathscr{S}_*^{\mathrm{ng}}$ présente de grandes similarités avec celle du cas $s\in\mathscr{S}_*^{\mathrm{st}}$, les nouveautés se trouvant plutôt dans la construction [**25**] des (φ,Γ)-modules $D(s)$ que dans la construction de l'isomorphisme du théorème 0.6.

(iii) La démonstration dans le cas $s\in\mathscr{S}_*^{\mathrm{st}}$ a été inspirée par un sous-produit du résultat de Breuil [**10**] mentionné ci-dessus. Si $f=\sum_{n=1}^{+\infty}a_nq^n$ est une forme modulaire primitive de poids $k\geq 3$ dont le coefficient a_p vaut $p^{(k-2)/2}$, la représentation V_f de $\mathrm{Gal}(\overline{\mathbf{Q}}_p/\mathbf{Q}_p)$ qui lui est associée est semi-stable de dimension 2 et de poids de Hodge-Tate 0 et $1-k$. Elle correspond à un point

---

(8) Dans cet article, une suite est bornée si elle est contenue dans un compact.

(9) Le déterminant de $V(s)$ est $L(\delta_1\delta_2)$ et comme on est en dimension 2, on a $\check{D}(s)=D(s)\otimes(x|x|\,\delta_1^{-1}\delta_2^{-1})$.

(10) Le résultat s'étend surement au cas exceptionnel, mais cela demanderait à être rédigé.